

**IDENTIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE POLEN Y ESPORAS DE HONGOS
PRESENTES EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

Edgard Alfonso Jiménez López

Diana Carolina Porras Duran

Universidad De La Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2019

**IDENTIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE POLEN Y ESPORAS DE HONGOS
PRESENTES EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

Edgard Alfonso Jiménez López

Diana Carolina Porras Duran

Trabajo de Grado Presentado Como Requisito Parcial Para Optar al Título de Ingeniero
Ambiental

Tutora:

MSc. Andrea Liliana Moreno Ríos

Cotutor:

Dr. Alfonso Cepeda

Asesoras:

MSc. Wendy Morgado Gamero

Dr. Sara Villalba

Universidad De La Costa

Departamento de Civil y Ambiental

Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2019

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, / /

Nota de aceptación:

Dedicatoria***A Dios***

Por permitirme cumplir las metas que me he propuesto hasta ahora en la vida y le agradezco por darme la oportunidad de pertenecer a una gran familia.

A mi familia

A mis padres por brindarme su apoyo en todo momento, darme una educación llena de valores y cuidar siempre de mí. A mi hermano y hermana menor por ayudarme en lo que necesito y por los buenos momentos que hemos compartido.

A mi novia

Por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por ser mi apoyo incondicional, comprenderme e impulsarme a salir adelante día a día.

A mis amigos

Arturo, Jorge y todos los que han estado cuando más los he necesitado, por aguantar mi forma de ser y por los inolvidables momentos que hemos vivido.

Edgard Alfonso Jiménez López

Dedicatoria***A Dios***

Por haberme dado el don de la vida y las fuerzas de seguir adelante, a él le debo y agradezco todo lo que he logrado hacer en cada etapa de mi vida.

A mi mama

Por la motivación y ayuda que me ha brindado, su amor incondicional e incomparable, su formación y enseñanza que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi novio

Por su comprensión y cariño, su compañía en los momentos buenos y malos, sus consejos y ánimos de fuerza y valor en todo momento.

Diana Carolina Porras Duran

Agradecimientos

El agradecimiento más profundo y sincero va para nuestras familias, sin su apoyo no habríamos logrado alcanzar este objetivo.

A la MSc. Andrea Moreno Ríos y al Dr. Alfonso Cepeda, Tutora y Cotutor de nuestro Proyecto de Grado, respectivamente; quienes con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han contribuido a la culminación de nuestros estudios con éxito.

A nuestras asesoras la MSc. Wendy Morgado Gamero y la Dr. Sara Villalba, por la orientación y ayuda brindada en todo momento.

A nuestras compañeras de muestreos Caroline Cortina y Karen Martínez por su extraordinaria solidaridad y colaboración.

A la Universidad De La Costa por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales.

Al personal de los laboratorios de la Universidad De La Costa, por su cooperación durante el desarrollo de este proceso investigativo.

Resumen

Existe una gran variedad de pequeñas partículas sólidas o líquidas presentes en la atmósfera, las cuales pueden ser de origen antropogénico o biológico (bioaerosoles) y pueden generar repercusiones negativas en la salud humana por su potencial alergénico. Se les conoce como aeroalérgenos, y dentro de ellos se encuentran los granos de polen y las esporas de hongos. Debido a las grandes cantidades de casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica a estas partículas y los pocos monitoreos realizados en los últimos años en la ciudad de Barranquilla, surgió la intención de realizar un estudio con el objetivo de identificar los granos de polen y esporas de hongos presentes en esta ciudad durante los meses de junio y julio del año 2018, así como de sus impactos negativos en la salud humana. Para lo anterior, se realizó el muestreo de las partículas mediante el captador volumétrico por succión VPPS 2.000 Lanzoni y para la cuantificación e identificación de estas, se utilizó la metodología propuesta en el manual de calidad y gestión de la REA (Red Española de Aerobiología). El potencial alergénico de los taxones encontrados se valoró mediante la frecuencia de casos clínicos de enfermedades relacionadas. Por último, se compararon los resultados obtenidos en este estudio con los encontrados en los años 2008, 2009 y 2010 en una investigación realizada bajo la misma metodología de muestreo e identificación en Barranquilla. Se encontró que dentro de los granos de polen y esporas de hongos muestreados los que presentaron mayor valor de concentración promedio fueron *Cecropiaceae* y *Ascosporas* respectivamente. Así mismo, se evidenció que en el monitoreo realizado en el año 2018 se reportaron valores superiores de concentraciones totales con respecto a lo muestreado en los años de 2008, 2009 y 2010. En cuanto a los granos de polen y esporas de hongos con potencial alergénico muestreados, se pudo concluir que los alérgenos *Gramíneas*, *Alternaria*,

Fusarium y *Aspergillus/Penicillium* fueron los que causaron mayor número de casos con patologías alérgicas en la población de Barranquilla.

Palabras Clave: Bioaerosoles, Aeroalérgenos, Granos de polen, Esporas de hongos, Método volumétrico por succión, Pruebas cutáneas

Abstract

There is a great variety of small solid or liquid particles present in the atmosphere, which can be of anthropogenic or biological origin (bioaerosols) and can generate negative repercussions on human health due to their allergenic potential. They are known as aeroallergens, and within them are pollen grains and fungal spores. Due to the large amounts of clinical cases of patients with allergic sensitivity to these particles and the few monitoring carried out in recent years in the city of Barranquilla, the intention was to carry out a study with the objective of identifying pollen grains and spores. fungi present in this city during the months of June and July 2018, as well as their negative impacts on human health. For the above, the particles were sampled using the VPPS 2,000 Lanzoni suction volumetric sensor and for the quantification and identification of these, the methodology proposed in the quality and management manual of the REA (Spanish Aerobiology Network) was used. The allergenic potential of the taxa found was assessed by the frequency of clinical cases of related diseases. Finally, the results obtained in this study were compared with those found in 2008, 2009 and 2010 in a study conducted under the same sampling and identification methodology in Barranquilla. It was found that among the grains of pollen and fungal spores sampled, those with the highest average concentration value were *Cecropiaceae* and *Ascospores* respectively. Likewise, it was evidenced that in the monitoring carried out in 2018, higher values of total concentrations were reported with respect to the sampled in the years of 2008, 2009 and 2010. As for the pollen grains and fungal spores with allergenic potential sampled, it was concluded that *Gramineae*, *Alternaria*, *Fusarium* and *Aspergillus* / *Penicillium* allergens were the ones that caused the greatest number of cases with allergic pathologies in the population of Barranquilla.

Keywords: Bioaerosols, Aeroallergens, Pollen grains, Fungal spores, Suction volumetric method, Skin tests

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	12
1. Introducción.....	14
2. Planteamiento del problema	16
3. Justificación	18
4. Objetivos.....	20
4.1. Objetivo general	20
4.2. Objetivos específicos	20
5. Marco referencial.....	21
5.1. Antecedentes.....	21
5.1.1. Europa.....	21
5.1.2. América Latina	22
5.1.3. Colombia	24
5.2. Marco teórico.....	25
5.2.1. La aerobiología	25
5.2.2. Los bioaerosoles y su dinámica con la atmósfera.....	26
5.2.3. Los aeroalérgenos	29
5.2.4. Polen	31
5.2.4.1. Intina.....	33
5.2.4.2. Exina.....	33
5.2.4.3. Tipos de polen según su proveniencia	33
5.2.4.4. Tipos de polen según su apertura	36
5.2.4.5. Tipos de polen según su forma	37
5.2.5. Esporas de hongos	37
5.2.6. Inmisión de aeroalérgenos y los efectos a la salud.	39
5.2.7. Métodos y equipos de monitoreo para granos polen y esporas de hongos.	44
5.2.7.1. Método volumétrico por succión.....	44

5.2.7.2.	Método volumétrico por rotación	44
5.2.7.3.	Método gravimétrico	45
5.2.7.4.	Método por filtración.....	45
6.	Metodología.....	46
6.1.	Área de estudio	46
6.2.	Cuantificación de polen y esporas de hongos.....	46
6.2.1.	Equipos y materiales.....	46
6.2.2.	Preparación del Material para la toma de muestras	48
6.2.3.	Toma de muestras	48
6.2.4.	Identificación y cuantificación del polen y esporas de hongos	49
6.2.5.	Determinación de la concentración de polen y esporas de hongo en la ciudad de Barranquilla.....	50
6.2.6.	Procesamiento de los datos.....	52
7.	Resultados y discusión.....	53
7.1.	Concentración promedio de granos de polen y esporas de hongos en la ciudad de Barranquilla.....	53
7.2.	Análisis de datos	56
7.2.1.	Gráficos de concentración y frecuencia.....	56
7.2.2.	Comparación de resultados de las frecuencias de granos polen y esporas de hongos en los meses de junio y julio entre años 2008, 2009, 2010 y 2018.	61
7.3.	Relación existente entre los granos de polen y esporas de hongos alérgenos con los casos clínicos de alergia, rinitis y rinoconjuntivitis de la población de Barranquilla.	67
8.	Conclusiones.....	72
9.	Recomendaciones	74
10.	Referencias	75

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 <i>Grupos de pólenes provenientes de plantas angiospermas.</i>	34
Tabla 2 <i>Grupos de pólenes provenientes de plantas gimnosperma.</i>	35
Tabla 3 <i>Clasificación de granos de polen según su forma.</i>	37
Tabla 4 <i>Distribución taxonómica de hongos que generan esporas alergénicas.</i>	38
Tabla 5 <i>Recuento promedio de polen y número de pacientes nuevos con casos de rinitis asmática y alérgica durante Enero - Junio y su correlación.</i>	42
Tabla 6 <i>Recuento promedio de polen y número de pacientes nuevos con casos de rinitis asmática y alérgica durante Julio - Diciembre y su correlación.</i>	43
Tabla 7 <i>Pólenes causantes de rinoconjuntivitis y asma alérgico en España.</i>	43
Tabla 8 <i>Concentración promedio de los granos de polen en los meses de junio y julio de 2018.</i>	53
Tabla 9 <i>Concentración promedio de las esporas de hongos en los meses de junio y julio de 2018.</i>	54
Tabla 10 <i>Frecuencia de granos de polen y esporas de hongos con potencial alergénico monitoreados en los meses de junio y julio del 2018.</i>	68
Tabla 11 <i>Casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica en la ciudad de Barranquilla del mes de junio de 2018.</i>	68
Tabla 12 <i>Casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica en la ciudad de Barranquilla del mes de julio de 2018.</i>	69

Figuras

<i>Figura 1. Estructura de la esporodermis.</i>	33
<i>Figura 2. Tipos de granos de polen según el tipo y posición de las aperturas.</i>	36
<i>Figura 3. Mapa de prevalencia de síntomas actuales de rinoconjuntivitis, grupo de edad de 13 a 14 años.</i>	41
<i>Figura 4. Mapa de prevalencia de síntomas actuales de rinoconjuntivitis, grupo de edad de 6 a 7 años. Los símbolos indican categorías de prevalencia de $\geq 10\%$ (estrellas rojas), ≥ 5 a $<10\%$ (diamantes amarillos) y $<5\%$ (cuadrados azules).</i>	41
<i>Figura 5. Muestreador VPPS 2000 Lanzoni.</i>	47
<i>Figura 6. Microscopio DM750 de marca Leica.</i>	47

<i>Figura 7.</i> Lámina de acetato utilizada para el recuento de granos de polen.....	49
<i>Figura 8.</i> Concentración total diaria de los granos de polen en los meses de junio y julio del año 2018.....	56
<i>Figura 9.</i> Concentración total diaria de esporas de hongos en los meses de junio y julio del año 2018.....	57
<i>Figura 10.</i> Familias/Géneros/Especies de granos de polen prevalente en el mes de junio de 2018.....	59
<i>Figura 11.</i> Familias/Géneros/Especies de granos de polen prevalente en el mes de julio de 2018.....	59
<i>Figura 12.</i> Familias/Géneros/Especies de esporas de hongos prevalentes en el mes de junio de 2018.....	60
<i>Figura 13.</i> Familias/Géneros/Especies de esporas de hongos prevalente en el mes de julio de 2018.....	60
<i>Figura 14.</i> Frecuencia de granos de polen en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).....	62
<i>Figura 15.</i> Frecuencia de granos de polen en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).....	62
<i>Figura 16.</i> Frecuencia de los granos de polen en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).....	63
<i>Figura 17.</i> Frecuencia de los granos de polen en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).....	63
<i>Figura 18.</i> Familia/Género/Especie de esporas de hongos en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).....	65
<i>Figura 19.</i> Familia/Género/Especie de esporas de hongos en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).....	65
<i>Figura 20.</i> Familia/Género/Especie de esporas de hongos en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).....	66
<i>Figura 21.</i> Familia/Género/Especie de esporas de hongos en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).....	66

Lista de anexos

Anexo 1. Identificación de granos de polen encontrados por medio del microscopio DM750 de marca Leica a un objetivo de 40X.....	80
Anexo 2. Identificación de esporas de hongos encontrados por medio del microscopio DM750 de marca Leica a un objetivo de 40X.	83

1. Introducción

En la atmósfera se encuentra presente una gran variedad de pequeñas partículas sólidas o líquidas denominadas aerosoles atmosféricos, las cuales poseen propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas definidas (Arciniégas, 2012). Los bioaerosoles hacen referencia a las partículas de origen biológico, que se generan a partir de metabolitos, toxinas, microorganismos o fragmentos de insectos y plantas que están presente en el ambiente de forma ubicua (Fröhlich-nowoisky et al., 2016; Kim, Kabir, & Jahan, 2018; Morgado et al., 2018), dependiendo de su naturaleza, algunos bioaerosoles son considerados aeroalérgenos, ya que tienen la capacidad de generar impactos negativos en la salud de las personas que poseen una sensibilidad alérgica a este tipo de partículas causándoles generalmente problemas en las vías respiratorias como lo son la rinoconjuntivitis y asma (Baños & Morales, 2009; Morgado et al., 2018; Taha et al., 2007).

En busca de resolver esta problemática, se han desarrollado diferentes estudios, los cuales han demostrado que los aeroalérgenos son un grupo de partículas muy extenso y se encuentra conformado por granos de polen, esporas de hongos, ácaros, bacterias, insectos y virus, siendo los dos primeros los principales responsables de las enfermedades alérgicas prevalentes a nivel mundial (Cezar, 2009; Maldonado et al., 2014). Dentro de las tecnologías para el muestreo de los granos de polen y esporas de hongos se han utilizado principalmente el método volumétrico por succión, por rotación, por gravimetría y por filtración (Belmonte,

2003). En cuanto a la identificación los métodos utilizados están descritos en la metodología propuesta en el manual de calidad y gestión de la REA.

En este estudio se determinó la concentración de granos de polen y esporas de hongos en los meses de junio y julio del año 2018 en la ciudad de Barranquilla, así mismo, se realizó un análisis descriptivo del comportamiento de estas partículas con potencial alergénico en ambientes exteriores. Para lo anterior, se utilizó un muestreador de partículas volumétricas por succión VPPS 2000 Lanzoni, y la metodología presentada por el manual de calidad y gestión de la REA para la identificación del tipo de alérgenos.

Es importante mencionar que este estudio hace parte de un proyecto de mayor envergadura en el cual se incluye dentro de los objetivos específicos la correlación entre los granos de polen y esporas de hongos monitoreadas en los meses de junio y julio del año 2018 con las variables meteorológicas obtenidas en el mismo periodo. Sin embargo, estos resultados no se mostrarán en este documento, ya que corresponden a otro trabajo de grado que se desarrolla en paralelo.

2. Planteamiento del problema

Dentro de los principales tipos de aeroalérgenos presentes en las grandes ciudades se encuentran los granos de polen y las esporas de hongos. Estos poseen la capacidad de producir enfermedades respiratorias alérgicas a los seres humanos, debido a sus propiedades, estas partículas se inhalan fácilmente y son capaces de penetrar dentro del sistema respiratorio (Arias et al., 2002; Puiggròs, 2012).

Los granos de polen son partículas fecundantes necesarias para la reproducción y la formación de los frutos y semillas. Su aparición en la atmósfera está relacionada con los periodos de floración de las plantas que las producen; si bien este proceso de polinización es necesario y trae consigo beneficios para el ser humano, también puede estar acompañado de repercusiones negativas para este (Trigo, 2017). Adicionalmente, es importante mencionar que se consideran un factor ambiental con una reacción de hipersensibilidad de tipo I según la clasificación de Gell y Coombs y pueden dar lugar a la aparición de cuadros clínicos como rinoconjuntivitis, asma, urticaria, gastroenteritis o anafilaxia, que representan un factor de riesgo a la salud humana (Arias et al., 2002).

Por su parte, al igual que las partículas de polen, las esporas de hongos en altas concentraciones también pueden traer consecuencias negativas en los seres humanos, como lo son: problemas respiratorios (en algunos casos crónicos), dolores musculares, trastornos en el sistema inmunológico, alteraciones visuales, problemas gastrointestinales, genitourinarios e inmunosupresión (Arias et al., 2002; Puiggròs, 2012; Sánchez & Almaguer, 2014).

Estudios demuestran que la prevalencia de los pólenes y esporas de hongos con potencial alergénico son más frecuente en países desarrollados que en los países subdesarrollados, debido a que la contaminación industrial influye en la capacidad de los granos polen y esporas de hongos para producir trastornos alérgicos en personas con un grado de

sensibilidad a estos, registrándose datos de afectación entre el 1 y el 38% para niños y entre el 2 y 12% para adultos (Puiggròs, 2012).

Existe una relación entre la aparición y concentración de granos de polen y esporas de hongos alérgenos en la atmósfera y los casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica a nivel mundial, por este motivo se ha generado un gran interés por parte de los científicos de realizar estudios sobre los aeroalérgenos, sin embargo, en la ciudad de Barranquilla no existe monitoreos continuos sobre la concentración de estas partículas alérgicas que afectan la salud de la población a lo largo del tiempo (Gutiérrez, Pérez, & Cervigón, 2015).

En este sentido, para efectos de esta investigación el planteamiento principal es: ¿Cuál es la concentración de los granos de polen y las esporas de hongos en los meses de junio y julio del año 2018 en la atmósfera de la ciudad de Barranquilla? y ¿Cuáles de los taxones identificados con potencial alergénico en el monitoreo se registraron en los casos clínicos de la ciudad de Barranquilla?

3. Justificación

Los aeroalérgenos constituyen a una pequeña fracción con respecto a la cantidad total de las partículas biológicas presentes en el aire, sin embargo, son significativos para la salud del ser humano ya que tienen la capacidad de producir alergias respiratorias, cutáneas o conjuntivales (Guidos F & Almeida A, 2005). Los granos de polen y los hongos de esporas son las partículas más representativas que producen cuadros alérgicos, a través de la inhalación (Guidos F & Almeida A, 2005).

Los granos de polen presentan un comportamiento estacional en los hemisferios norte y sur donde hay estaciones marcadas y sus concentraciones se elevan durante las épocas de floración de las plantas. En contraste, en las áreas tropicales e intertropicales presentan un comportamiento más regular a lo largo del año, causando trastornos en hasta el 40% de la población mundial, por una exposición inadecuada del individuo susceptible con el medio ambiente que lo rodea (Aït-Khaled et al., 2009). Así mismo, los hongos siendo las otras partículas representativas, se reproducen por esporas que viajan en el aire a diferentes concentraciones según las condiciones ambientales de cada lugar, las cuales son agentes responsables de las reacciones alérgicas de personas (Aït-Khaled et al., 2009).

Los estudios aerobiológicos en Colombia han adquirido un mayor grado de importancia después de que diversas investigaciones demostraran que las partículas alergénicas en la atmósfera (como los granos de polen y esporas de hongos) han causado enfermedades alérgicas como rinitis, conjuntivitis alérgicas y asma alérgico en individuos sensibles (Cabralés, García, & Ramírez, 2015). Si bien es cierto que se han desarrollado diversos estudios sobre alérgenos en Colombia, se requieren todavía estudios para la identificación de los granos de polen y esporas de hongos que se han presentado en los últimos años y estudios que definan su comportamiento según el tiempo y espacio (Cabralés et al., 2015). Es claro,

que se necesita más investigación para evaluar adecuadamente sus peligros potenciales para la salud, incluida la susceptibilidad interindividual y las interacciones con agentes no biológicos (Kim et al., 2018). Adicionalmente, se carece de instrumentos legales que regulen la concentración de bioaerosoles en el aire; sin embargo, aunque no existen guías o estándares establecidos, algunos expertos y agencias de control ambiental y de la salud tienen diversas opiniones de lo que debe ser un nivel aceptable de aerotransportables viables en el aire. Para el caso de los granos de polen y las esporas de hongos no existen instrumentos legales para la regulación de su concentración, debido a que es imposible poder controlarlos puesto que su aparición en la atmósfera se debe a procesos biológicos naturales (Morgado et al., 2018).

Existe una escasez de estudios aerobiológicos en Colombia, sin embargo, en la ciudad de Barranquilla, se han realizado varios estudios aerobiológicos desde hace varios años, dentro de estos se encuentran dos monitoreos desarrollados en los años 2004 y 2005, los cuales tuvieron como objetivo conocer la concentración de esporas de hongos y crear un calendario polínico de esos años (Cepeda & Villalba, 2008). La intención de este trabajo es contribuir a los estudios aerobiológicos ya existentes y suministrar información del comportamiento de los granos de polen y esporas de hongos situadas en la atmósfera de la ciudad de Barranquilla en los meses de junio y julio del año 2018 por medio de la implementación del muestreador VPPS 2000 Lanzoni, el cual se encuentra ubicado en la azotea del bloque 9 de la Universidad De la Costa.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Identificar los granos de polen y esporas de hongos presentes en la ciudad de Barranquilla durante los meses de junio y julio del año 2018 y sus impactos negativos en la salud humana.

4.2. Objetivos específicos

- Estimar la concentración de granos de polen y esporas de hongos presentes en el aire de la ciudad de Barranquilla.
- Evaluar la relación existente entre la concentración de granos de polen y esporas de hongos muestreados con los estudios realizados en años anteriores en la ciudad de Barranquilla.
- Analizar los tipos de granos de polen y esporas de hongos con potencial alergénico que afectan a la población de la ciudad de Barranquilla.

5. Marco referencial

5.1. Antecedentes

5.1.1. Europa

A nivel mundial existen muchas investigaciones relacionadas a la identificación de los granos de polen y esporas de hongos que se generan a lo largo del año en los diferentes lugares del mundo. Por citar algunos ejemplos en la Universidad de Córdoba (España) en los años 1991 y 1992 se realizó uno de los primeros estudios por parte de la REA, donde se tenía como objetivo medir las concentraciones de granos de polen en la atmósfera con dos trampas de esporas Burkard (método gravimétrico) a dos alturas diferentes, la primera a 1,5 m y la segunda a 15 m (Galán, Alcázar, Domínguez, Villamandos, & Garcia, 1995). Se obtuvo como resultado que las concentraciones de *Urticaceae* eran mayores en el muestreador de la parte superior, mientras que los demás tipos de granos de polen se registraron con concentraciones similares en ambos muestreadores (Galán et al., 1995).

En la ciudad de Málaga se realizó otro monitoreo, con el fin de realizar un calendario polínico de la zona, donde se utilizó un captador de partículas volumétrico por succión tipo Hirst y como resultado del estudio se obtuvieron los granos de polen más representativos de la zona, los cuales son: *Ulmus*, *Cupressaceae*, *Fraxinus*, *Populus*, *Mercurialis*, *Urticaceae*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*, *Olea* y *Poaceae* (Trigo et al., 2015).

En este mismo país, pero en la ciudad de Cataluña, se desarrolló una modelación espacio-temporal de polen y esporas de hongos en la atmósfera de 8 localidades de esta ciudad, la cual permitió evaluar y predecir la concentración de estos aeroalérgenos y su dinámica estacional, el tiempo de monitoreo de este estudio fue desde el año 1995 hasta el 2015 y la metodología implementada fue la propuesta por la REA, registrando 29 tipos polínicos y 20

tipos fúngicos, siendo el taxón polínico *Urticaceae* y el taxón fúngico *Cladosporium* los que mayor estabilidad tuvieron anualmente en la escala espacio-temporal (Vélez, 2017).

5.1.2. América Latina

En América Latina también se han realizado múltiples estudios con el objetivo de caracterizar los tipos de polen presentes en la atmósfera, como es el caso del artículo publicado por Pire *et al.* 2004, el cual trata sobre el estudio palinológico en el Litoral Fluvial Argentino. En este se analiza la concentración y morfología del polen producido por la flora de esa región del país, evidenciándose que la clase más representativa de granos de polen es la de *Dicotyledoneae*, dentro de estas se destacan las familias *Acanthaceae*, *Phytolaccaceae*, *Lamiaceae* y *Oleaceae* (Pire, Anzótegui, & Cuadrado, 2004).

En los años 2007 y 2008 se realizó un recuento de los granos de polen que se presentaron en la atmósfera de Talca (Chile) (Mardones et al., 2013), con el fin de determinar cuáles eran los meses con mayores concentraciones de polen alergénico en esa zona. El monitoreo se realizó con un muestreador volumétrico por succión Burkard, determinando que fue en los meses de agosto a noviembre donde se presentaron altas concentraciones de los siguientes granos de polen, *P. acerifolia*, *A. pseudoplatanus* y *Gramíneas* (Mardones et al., 2013).

Posteriormente, en el año 2011 se desarrolló un monitoreo en la ciudad La Plata (Argentina), evaluando la concentración y diversidad de polen y esporas de hongos presentes en la atmósfera. Por medio de un captador volumétrico por succión Lanzoni, encontraron 201.889,15 bioaerosoles inmersos en la atmósfera, de los cuales el 15% correspondió a 54 tipos polínicos y el 85% a 79 tipos de esporas, las familias polínicas más reiterativas fueron *Platanus*, *Fraxinus*, *Poaceae* y *Ambrosía* (Nitiu & Mallo, 2011). Un año después, Nitiu y Mallo (2012) realizaron otro monitoreo, esta vez en la ciudad de Buenos Aires durante tres

años, en este se pudo observar la presencia de 26 tipos diferentes de polen en el primer año, 35 en el segundo y 31 en el último año, en los cuales la concentración total de polen fue de 80.615,3; 73.412,1 y 52.896,1 granos respectivamente. En este estudio, los granos de polen arbóreos que más se evidenciaron fueron *Cupressaceae*, *Fraxinus*, *Moraceae*, *Celtis*, *Ulmus*, *Pinaceae* y *Myrtaceae*, y de granos de polen herbáceo se encontraron *Poaceae*, *Cyperaceae* y *Urticaceae* (Nitiu & Mallo, 2012).

También existen investigaciones enfocadas solamente a la morfología de los granos de polen, como lo es el caso de un estudio desarrollado en Chile, donde se utilizó la microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido para la comparación morfológica entre los granos de polen pertenecientes a las especies de la familia *Proteaceae* (Hebel & Rojas, 2000). En este mismo país, también se realizó un estudio sobre los tipos de polen y esporas del sector de Neógeno, en el que se analizó la parte palinológica en afloramientos de la cordillera de la costa, ubicada en el centro de Chile, en este se obtuvo el primer registro de taxones endémicos de las familias *Calyceraceae* y *Asteraceae* para la palinoflora de Chile (Barreda, Encinas, & Hinojosa, 2011)

En México también se ha evidenciado una gran concentración de granos de polen y esporas de hongos, por esta razón se ejecutó un estudio palinológico de las floras fósiles en la región de Pichucalco, Chiapas. En este se analizaron 663 microfósiles por medio de la técnica de fotomicrografía, de los cuales en 35 muestras se encontraron granos de polen y esporas de hongos. La mayor cantidad de granos de polen encontrados pertenecen a los géneros *Engelhardtia*-*Oreomunnea*, *Picea*, *Quercus* y *Pinus*; mientras que la mayor cantidad de esporas encontradas hacen parte de las familias *Cyatheaceae* y *Polypodiaceae* (Palacios & Rzedowski, 1993). También se ha logrado conocer el clima y las plantas que existían hace miles de años en el noroeste de México, esto por medio de una revisión de los principales

aportes de la palinología de la zona, lo que permitió tener conocimiento que en ese sector hace 11.000 años existía una vegetación de ambientes húmedos con fuertes precipitaciones y que 7.000 años después la vegetación de ese sector cambió por los abruptos cambios en el clima y el gran aumento de la temperatura (Macías & Ortega, 2014).

5.1.3. Colombia

Con el transcurrir de los años, en Colombia se han realizado estudios para identificar los granos de polen y esporas presentes en las diferentes regiones, el primer estudio palinológico fue hecho en el año 1979 en los primeros 35 metros de la sección Tarragona de la Sabana de Bogotá, donde se identificaron 5 especies de fungí fósil, 14 tipos de polen y 8 tipos de esporas triletes en las muestras extraídas del suelo (Dueñas, 1979).

Luego, en el año 1995 se realizó una investigación en la ciudad de Medellín, en la que se desarrolló un atlas palinológico de la flora vascular paramuna de Colombia (Angiosperma) por medio de la técnica acetolítica de Erdtman, con el propósito de reconocer los tipos de polen alérgeno presentes en esta región, entre las familias más destacadas están: *Asteraceae*, *Orchidaceae* y *Juncaceae* (Velásquez & Rangel, 1995).

Cinco años después, se realizó un monitoreo durante dos años en la ciudad de Barranquilla con el fin de conocer la concentración de granos de polen y esporas de hongos y desarrollar un calendario polínico de la ciudad, en este estudio se encontró que el *Cladosporium* era el género de esporas más significativo, presentándose en un 33,88% del total de las muestras del 2004 y en un 29,61% del 2005 (Cepeda & Villalba, 2008); mientras que en los granos de polen la clase más significativa provenía de las angiospermas con un 58,86% del total de las muestras del 2004 y en un 62,31% del 2005 (Cepeda & Villalba, 2008)

En el año 2008 se llevó a cabo otro muestreo para conocer la concentración de granos de polen y esporas de hongos que se presentaban en la ciudad de Barranquilla (Cepeda, Villalba, Parody, & Gamboa, 2013). En esta investigación se lograron identificar los siguientes géneros de esporas de hongos: *Cladosporium* en un 26,38% de las muestras totales, *Aspergillus/Penicillium* en un 14,84%, *Cercospora* en un 3,99%, *Alternaria* en un 3,8%, *Curvularia* en un 3,8%, *Nigrospora* en un 3,74%, *Drechslera* en un 3,67%, *Periconia* en un 2,58% y la *Torula* en un 2,36%. Así mismo, del total de las muestras se identificaron las siguientes familias de granos de polen: el 19,34% pertenecía a *Poaceae*, el 13,22% *Moraceae*, el 12,6% *Typhaceae*, el 9,3% a *Urcaceae*, el 9,28% a *Fagaceae*, el 8,69% a *Asteraceae*, el 7,76% a *Fabaceae*, el 5,5% a *Myrtaceae*, el 4,4% a *Amaranthaceae* y el 3,06% a *Betulaceae* (Cepeda, Villalba, Parody, & Gamboa, 2013).

Por último, se hizo un monitoreo en la ciudad de Medellín en el año 2011, el cual fue llevado a cabo por un año y se implementó un captador volumétrico de partículas tipo Hirst (Alzate, Quijano, Alvarez, & Fonnegra, 2015). En este estudio se identificaron 32 tipos de polen, entre estos 30 angiospermas y 2 gimnospermas; así mismo se encontraron 20 esporas de hongos (Alzate et al., 2015).

5.2. Marco teórico.

5.2.1. La aerobiología

La aerobiología es una ciencia multidisciplinaria que estudia el comportamiento de las partículas biológicas presentes en el aire. También se encarga del estudio de los gases abióticos que afectan el comportamiento de los organismos vivos, los cuales generalmente son el plomo, ozono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre (Nitiu & Mallo, 2011). Desde hace varios años la aerobiología ha venido trabajando en conjunto con otras ramas en el estudio de las partículas biológicas, como lo son la botánica, la zoología, la microbiología, la

meteorología, la física, la medicina, la bioquímica, la agronomía y la alergología (Nitiu & Mallo, 2011).

Esta ciencia ha ganado bastante reconocimiento a nivel mundial en los últimos años, debido a los diversos casos de alergias que se presentan en los diferentes países y ciudades del mundo. Por esta razón, la aerobiología y la alergología han realizado una gran cantidad de investigaciones en conjunto para conocer el comportamiento de las partículas que están inmersas en la atmosfera, determinar los tipos de aeroalérgenos que causan afectaciones en la salud de las poblaciones según su ubicación, vegetación y condiciones meteorológicas y las repercusiones que estas tienen en el cambio climático y en la fragmentación de un hábitat (Gabaldón Arguiselas, 2016; Nitiu & Mallo, 2012).

5.2.2. Los bioaerosoles y su dinámica con la atmósfera

Los bioaerosoles son partículas de origen biológico que poseen un tamaño microscópico y que se encuentran inmersas en el aire. Estas tienen la capacidad de afectar negativamente la salud de los seres humanos, causándoles alergias o infecciones al inhalarlas o entrar en contacto directo con ellas (Sánchez, Roig, Cayuela, & Stentiford, 2006)

Se generan a partir de un organismo o de una de sus partes, pero para que se origine un bioaerosol es necesario que se cumplan tres condiciones, las cuales son:

- Que se encuentre presente en un reservorio, lo cual hace referencia al lugar donde se encuentra un organismo de forma natural y su adaptación al hábitat. La mayoría de organismos se encuentran en reservorios ambientales, sin embargo, existen organismos que están obligados a situarse en un tipo de reservorio determinado, como lo son los virus, algunas bacterias y ciertos hongos que sólo pueden sobrevivir dentro de otros

organismos vivos, por esta razón no pueden desarrollarse en reservorios ambientales (Martí & Obiols, 2005).

- La segunda condición es la amplificación, en la cual los organismos aumentan su número y/o concentración, sus partes o componentes en el reservorio donde se encuentren (Martí & Obiols, 2005).
- Por último, la diseminación, esta condición se encuentra correlacionada junto a la amplificación. Si esta última no se desarrolla correctamente, los bioaerosoles no podrían dispersarse de forma óptima en la atmósfera, porque la cantidad de material a dispersarse no sería el suficiente. En los casos de organismos que solo pueden sobrevivir dentro de otros organismos, la amplificación se origina dentro del mismo huésped y la diseminación se produce desde este, un ejemplo es el virus de la gripe, el cual se disemina por medio de los estornudos y la tos de los individuos afectados (Martí & Obiols, 2005).

Por otro lado, las variables meteorológicas desempeñan un papel fundamental en la generación y el comportamiento de los bioaerosoles en la atmósfera, ya que estas afectan la liberación inicial de estos y su dispersión. Unas de las variables más influyentes son la temperatura y la humedad, que afectan directamente en el tamaño y controlan la liberación activa de los bioaerosoles (Jones & Harrison, 2004). Otras variables que ocupan un papel fundamental al momento de la dispersión de los bioaerosoles son la velocidad del viento y las precipitaciones, porque afectan directamente la amplificación y la capacidad que poseen los bioaerosoles de ser transportados a través del viento hacia otros sectores diferentes del que fueron originados, o en su defecto, lograr difundirse por toda la zona donde se encuentra ubicado su punto de origen (Alzate et al., 2015).

Existe una correlación entre la velocidad del viento y la temperatura con los bioaerosoles, ya que estos se dispersan mejor y de una manera más rápida a elevadas temperaturas o en

climas secos que poseen altas velocidades de viento, en especial los granos de polen y esporas de hongos (Knutsen et al., 2012). Esto se comprobó en un estudio científico, donde se reveló que existen esporas de hongos que requieren de una velocidad mínima del viento para poder desprenderse de la vegetación, como lo es el caso de los géneros *Cladosporium* que necesitan de un mínimo de 1 m/s de velocidad y 0,5 m/s para *Aspergillus* y *Penicillium* (Pasanen, Pasanen, Jantunen, & Kalliokoski, 1991). Por esto, la medición y control de bioaerosoles en lugares abiertos o ambientes exteriores tiene un alto grado de dificultad, pero en sitios cerrados o en ambientes interiores existe la posibilidad de controlar la presencia y la concentración de estos, impidiendo la entrada de contaminantes hacia el interior o si esto se ha producido, proceder a eliminar la fuente que seguiría produciendo la amplificación y diseminación de los bioaerosoles que se encuentren al interior (Martí & Obiols, 2005).

Estudios han demostrado que factores meteorológicos como la temperatura y las condiciones espaciales para su desarrollo como los lugares cerrados o abiertos inciden significativamente en algunos tipos de esporas de hongos como el *Cladosporium*, por lo cual estas predominan en el aire de muchos lugares, especialmente en zonas templadas y es uno de los alérgenos más inhalados (Knutsen et al., 2012). Un estudio realizado en Colombia durante los años 2002- 2004, reveló que en una región tropical con clima cálido perenne se obtuvieron resultados positivos sobre la correlación entre la variabilidad de los niveles de polen de árboles con la temperatura, la velocidad del viento y la precipitación (Wilson, Villalba, Avila, Hahn, & Cepeda, 2011). Sin embargo, en otra investigación realizada durante los mismos años sobre los niveles de concentración de *Gramínea* (conocida como polen de césped), los resultados fueron negativos sobre la correlación de estos niveles con la temperatura y precipitación. Así mismo, no se presentó una correlación significativa con respecto a la velocidad del viento (Cepeda, Wilson, Villalba, Avila, & Hahn, 2011).

Otro factor que puede ser determinante en la dinámica de los aeroalérgenos presentes en la atmósfera es el cambio climático global, según un estudio realizado donde se sometieron a plantas creadoras de partículas vivas que pertenecen a la población de aeroalérgenos a concentraciones de 800 ppm de CO₂, se observó como resultado que los cambios climáticos influyen en las concentraciones de CO₂ presentes en la atmósfera, ya que se generó un aumento en la producción de esporas de hongos en un 40% por parte de la vegetación que se encontraba expuesta a estos cambios en su entorno (Knutsen et al., 2012).

5.2.3. Los aeroalérgenos

Los aeroalérgenos son partículas biológicas que se encuentran inmersas en la atmósfera y se transportan por el aire, tienen la capacidad de producir diferentes reacciones a personas que son susceptibles a estas. La reacción más común que provocan son las alergias, las cuales pueden ser de forma respiratoria, cutánea o conjuntival. Existe un gran grupo de partículas las cuales son las esporas de hongos, granos de polen y diferentes tipos de ácaros y epitelio que pertenecen al grupo de los aeroalérgenos (Baños & Morales, 2009).

Los aeroalérgenos son antígenos que al entrar en contacto con un ser humano que tenga una sensibilidad específica a este hace que el sistema produzca una reacción inmunológica de hipersensibilidad inmediata, mediada por IgE (Inmunoglobulina E), la mayoría de los alérgenos que causan estas afectaciones en la salud de los seres humanos son proteínas u otras sustancias ligadas a proteínas que son transportadas por el aire (Guidos & Almeida, 2005).

Hace varios años, el hombre relacionó algunas enfermedades con la floración de ciertas plantas por lo que se comenzaron a desarrollar diversos estudios sobre la polinosis. El químico neerlandés Van Helmont, analizó que los síntomas de asma que él mismo

experimentaba eran causados por una sustancia transportada en el aire y lo describió como “asma de verano” (Cepeda S. & Villalba V., 2006). Así mismo, el médico inglés John Bostock al sufrir desde temprana edad de síntomas nasales y oculares y tiempo después presentando síntomas bronquiales, realizó un estudio sobre su propia rinitis y conjuntivitis alérgica que se le manifestaba durante el verano, llamándola como “catarro de verano” y reconoció que la posible causa de sus malestares era el heno fresco y la exposición a partículas irritantes que se encontraban en la atmósfera (Cepeda S. & Villalba V., 2006). En 1819, el médico inglés Charles Blackley, describió al polen como causa de rinitis, conjuntivitis y problemas respiratorios como la disnea del asma al sufrir una serie de malestares por recoger un atado de pasto y observar partículas diminutas que se desprendían de esta, llamándolas “polvillo de pólenes”, por lo que lo motivó a realizar pruebas cutáneas de hipersensibilidad inmediata rozando un poco de pasto sobre su piel, demostrando así, la relación entre pólenes y los casos de alergias (Cepeda S. & Villalba V., 2006).

A pesar de que grandes científicos desarrollaron teorías sobre los trastornos alérgicos producidos por partículas en la atmósfera, en diversas partes del mundo eran escasos los estudios de identificación, clasificación y cuantificación de los aeroalérgenos, debido a la inexistencia de materiales y equipos que permitieran llevar a cabo investigaciones a fondo sobre este tema, sin embargo, con el pasar de los años la ciencia fue desarrollando equipos tecnológicos que le permitieron realizar los estudios e investigaciones de este tipo de partículas, arrojando resultados bastante precisos y contribuyendo al estudio del comportamiento de estos (Guidos & Almeida, 2005).

Según múltiples estudios e investigaciones realizadas por especialistas, se ha llegado a la conclusión que el tamaño promedio de un aeroalérgeno se encuentra entre 1 y 60 μm , ya que generalmente las esporas de hongos poseen un tamaño promedio entre 3 y 30 μm , los granos

de polen anemófilo se encuentran en el rango que está entre 20 y 60 μm y por último se tienen los ácaros de polvo que cuentan con tamaños entre 1 y 10 μm (Guidos & Almeida, 2005)

5.2.4. Polen

Los granos de polen son las células sexuales masculinas de las plantas, provienen del interior de los estambres o sacos polínicos y tienen como función principal llegar hasta la célula femenina de una flor de su misma especie para fecundarla, utilizando el aire como medio de transporte (Arias et al., 2002). Por otro lado, los granos de polen también desarrollan un papel muy importante en la aerobiología, ya que este es una de las partículas biológicas más comunes presentes en la atmósfera y una de las mayores causantes de reacciones alérgicas en las personas de ciertas zonas específicas. Poseen un tamaño promedio entre las 20 y 60 μm , pueden tener forma redondeada u ovalada y cada especie de polen está compuesto químicamente diferente, esto debe ser considerado por los alergólogos al momento de realizar investigaciones y comprender los diversos factores que se presentan en los casos de enfermedades alérgicas y sensibilización del paciente (Guidos & Almeida, 2005).

En la actualidad, las enfermedades alérgicas de origen biológico pueden ser generadas por una gran variedad de causas, sin embargo, con la ayuda de varias investigaciones se pudo identificar que los granos de polen son los responsables de producir alergia aproximadamente al 20% de la población mundial, en especial el polen anemófilo, ya que realiza su proceso de polinización a través del viento (Guidos & Almeida, 2005). Por esta razón, los habitantes de las ciudades que poseen grandes cantidades de vegetación anemófila han ido sufriendo severos casos de alergia y con el pasar de los años se han ido incrementando el número de

casos, esto es producto de la polinización y la gran contaminación atmosférica generada por las industrias de estos lugares (Nitui, & Mallo, 2012).

Por lo general, la abundancia de los pólenes alergénicos en un sector, municipio o ciudad dependen de la vegetación de la zona, la flora urbana y los cambios climáticos que se producen en ese lugar, estos últimos influyen notablemente en los periodos de floración y polinización de cada especie (Belmonte et al., 2010). Por este motivo, los estudios correlacionados de los granos de polen con las variables meteorológicas de un sector han adquirido una gran relevancia, ya que estos permiten el seguimiento y monitoreo a una escala espacio-temporal de las partículas, obteniendo como resultado proyectar la evolución y comportamiento de las comunidades biológicas (Nitui, & Mallo, 2012).

Otro descubrimiento obtenido gracias a estos estudios es el conocimiento de la estructura interior de un grano de polen, el cual posee dos partes fundamentales que son la célula viva y la “esporodermis”, esta última es la pared gruesa que protege la célula viva. La parte viva del polen tiene un periodo de vida corto, sin embargo, es posible que a pesar de que la célula se encuentre muerta, esta se encuentre intacta después de muchos años, ya que la esporodermis de algunos granos de polen es bastante resistente (De Rivas, 1976). Según el diccionario realizado por Font Quer (1953), la esporodermis es la membrana que rodea y protege la parte viva del grano de polen, dicha membrana, posee paredes, capas y estratos. También, se encuentra constituida por dos paredes que recubren concéntricamente la célula, estas son llamadas intina (pared interior) y exina (pared exterior) (De Rivas, 1976).

Esporodermis			
Paredes	Capas		Estratos
Exina	Sexina	Ectexina	Tectum
			Infratectum
			Base
	Nexina	Endexina	

Intina	
--------	--

Figura 1. Estructura de la esporodermis. Fuente: Rivas, 1976.

5.2.4.1. *Intina.*

Regularmente es una pared de espesor homogéneo, esta se encuentra alrededor de la célula viviente. Su composición química aún no se conoce a ciencia cierta, solo se conocen ciertos aspectos químicos, entre los cuales está que su componente principal es la celulosa. La constitución química de la intina se caracteriza por ser muy débil, lo que genera que la intina se destruya fácilmente, por esta razón no puede ser observada después de acetolizar el polen, y por lo tanto no se incluye frecuentemente en la taxonomía (De Rivas, 1976).

5.2.4.2. *Exina.*

La exina está conformada por dos capas llamadas endexina y ectexina, donde la primera está ubicada dentro y la segunda en la parte exterior (Reitsma, 1970). Se encuentra ubicada alrededor de la intina y es la pared más externa y resistente de la esporodermis, la cual tiene como compuesto químico principal la esporopolenina que se forma por medio de la polimerización oxidativa de carotenos y ésteres de carotenos en diversas proporciones. La exina se origina antes de la intina en el periodo de formación del polen y posee la gran capacidad de resistir diversos sucesos atmosféricos que puedan destruir o trastornar el interior del polen. La exina puede llegar a resistir hasta 300°C de temperatura y altas concentraciones de ácidos y bases, por esto se considera una de las capas más resistentes dentro del reino vegetal (De Rivas, 1976).

5.2.4.3. *Tipos de polen según su proveniencia*

Los granos de polen se clasifican en dos grandes grupos que son determinados por medio de la especie de la planta en el que estos son originados, estos son los tipos de granos de polen provenientes de las plantas angiospermas y de las plantas gimnosperma (Alzate et al., 2015)

- **Polen proveniente de las plantas angiospermas:** Son producidos en los estambres de las plantas, estos a su vez se clasifican en diversos grupos de granos de polen, entre los cuales tenemos los siguientes (Miralles, 2009):

Tabla 1

Grupos de pólenes provenientes de plantas angiospermas. Fuente: Miralles, 2009.

Familia	Especie	Familia	Especie
F. Aceraceae	<i>Acer negundo</i>		<i>Fagus alivatica</i> (haya)
	<i>Acer campestre</i>		<i>Castanea</i> (castaño)
	<i>Acer pseudoplatanus</i>		<i>Quercus rubra</i> (roble americano)
F. Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i>		<i>Quercus jatraes</i>
	<i>Phoenix canariensis</i>		<i>Quercus robur</i> (roble europeo)
		F. Fagaceae	
F. Betulaceae	<i>Betula (abedul)</i>		<i>Quercus coccifera</i> (chaparro)
	<i>Carpinus (carpe)</i>		<i>Quercus pyrenaica</i> (rebollo)
	<i>Ainus (aliso)</i>		<i>Quercus faginea</i> (quejigo)
	<i>Corylus (avellano)</i>		<i>Quercus ilex</i> (encina)
F. Ericaceae	<i>Arburus (madroño)</i>		<i>Quercus suber</i> (alcornoque)

	<i>Calium</i> (brejo común)		<i>Populus</i> (chopo o álamo blanco)
	<i>Erica terminalis</i> (brecina)	F. Salicaceae	<i>Salix</i> (sauce)
F. Fabaceae	<i>Acacia</i> (<i>A. dealbata</i> y <i>A. retinoides</i>)	F. Tilaceae	<i>Tilia platyphyllos</i> o <i>cordata</i> (tilo)
	<i>Robinia Pseudoacacia</i>	F. Ulmaceae	<i>Ulmus</i> (olmo)
	<i>Sophora japonica</i>		<i>Celtis</i> (almez)
F. Hippocastaneae	<i>Aesculus hippocastanum</i> (castaño de indias)	F. Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> (eucalipto)
	<i>Morus</i>		<i>Olea europea</i> (olivo)
F. Moraceae	<i>Morus alba</i>		<i>Fraxinus</i> (fresno)
	<i>Broussonetia papyrifera</i>	F. Oleaceae	<i>Syringa</i> (lilo)
F. Platanaceae	<i>Platanus hybrida</i> v. <i>hispanica</i>		<i>Ligustrum</i> (aligustre)
F. Rutaceae	<i>Citrus limon</i> (limonero)		
	<i>Citrus aurantium</i> (naranja)		

- **Polen proveniente de las plantas gimnospermas:** Los granos de polen de las plantas gimnospermas (pinos, abetos, cipreses) son producidos en los sacos polínicos, estos se clasifican en dos grandes grupos, los cuales son los siguientes (Miralles, 2009):

Tabla 2

Grupos de pólenes provenientes de plantas gimnosperma. Fuente: Miralles, 2009

Familia	Especie
	<i>Cupressus</i> (ciprés, arizónica)
	<i>Juniperus</i> (enebro, sabina)
F. Cupresaceae	<i>Thuja</i> (tuya <i>orientalis</i> y <i>occidentalis</i>)
	<i>Taxus</i> (tejo)

Crytomeria japonica (cedro del Japón)

Sequola semperviren (sequola)

Ables (abeto)

F. Pinaceae

Pinus (pino)

5.2.4.4. Tipos de polen según su apertura

Para realizar la clasificación correcta de los granos de polen según su apertura, es necesario utilizar el sistema artificial llamado NPC (Number, Position and Character), el cual permite ordenarlos según el número, posición y clase de aperturas. Gracias a este sistema, estos caracteres son frecuentes al momento de clasificar taxonómicamente los granos de polen (Soejarto & Fonnegra, 2008).

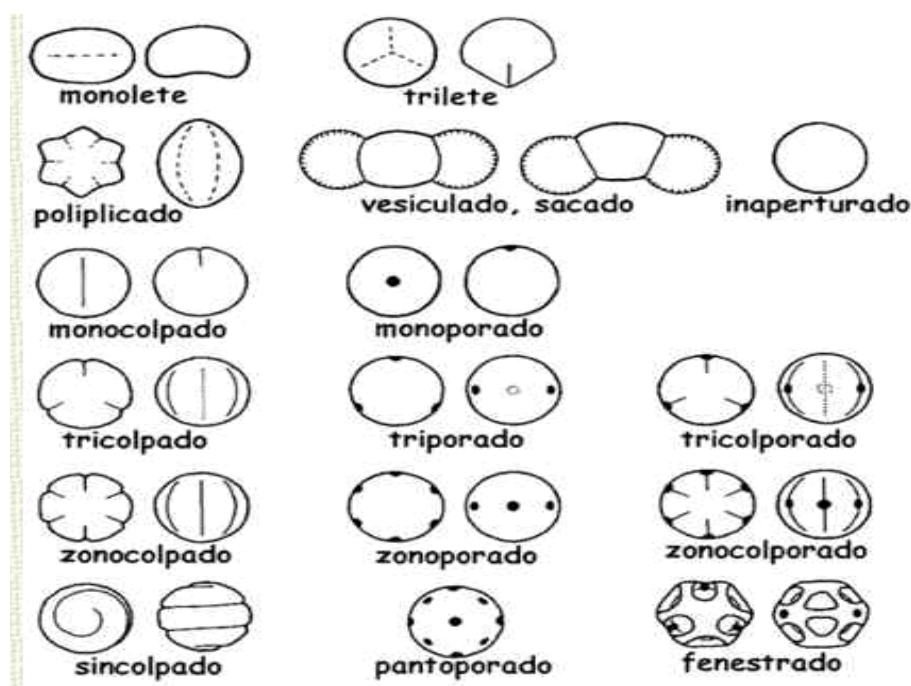


Figura 2. Tipos de granos de polen según el tipo y posición de las aperturas. Fuente: Soejarto & Fonnegra *et al*, 2008.

5.2.4.5. Tipos de polen según su forma

Para realizar de forma correcta la clasificación de los diferentes tipos de granos de polen se debe realizar una relación entre su longitud (P) y anchura (E), es decir, P/E (Miralles, 2009).

Gracias a esta relación se obtuvieron los siguientes tipos de granos de polen:

Tabla 3

Clasificación de granos de polen según su forma. Fuente: Miralles, 2009

Tipos de granos de polen	Características
Perprolato	Son los granos de polen en los que $P/E > 2$
Prolato	Son los granos de polen en los que $P/E = 1,33 - 2$
Subprolato	Son los granos de polen en los que $P/E = 1 - 1,14$
Esferoidal	Son los granos de polen en los que $P/E = 1$
Oblato-esferoidal	Son los granos de polen en los que $P/E = 1 - 0,88$
Suboblato	Son los granos de polen en los que $P/E = 0,88 - 0,75$
Oblato	Son los granos de polen en los que $P/E = 0,75 - 0,50$
Peroblato	Son los granos de polen en los que $P/E < 0,50$

5.2.5. Esporas de hongos

Las esporas de hongos forman parte de la gran variedad de bioaerosoles existentes y conforman el grupo más grande de estos. Están inmersos en gran parte de la atmósfera debido a sus pequeños tamaños y su facilidad de dispersarse con el viento (Castro, 2009). Sin embargo, la dispersión de las esporas también es influenciada por factores biológicos,

antrópicos y medioambientales, por este motivo cada ciudad o sector urbano presenta una aeromicroflora diferente a la de los demás lugares, esta es una de las razones principales por la cual las esporas de hongos han tenido un papel fundamental en el aumento en el número de casos alérgicos de los humanos (Ramos & Meza, 2017).

Según un estudio aerobiológico realizado, se ha obtenido como resultado que la gran mayoría de esporas de hongos en el aire exterior pertenecen a los filos *Ascomycota* y *Basidiomycota*, mientras que los *Zygomycota* se encuentran en un porcentaje bastante reducido. Además, en este estudio se pudo observar que los hongos con mayor producción de esporas alérgicas son las *Ascomycota*, productores de diferentes Conidios, entre los cuales se encuentran la *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium* y *Penicillium* (Jones & Harrison, 2004).

Por otro lado, las esporas suelen poseer una mayor presencia en el aire exterior que los granos de polen, teniendo como referencia que por cada grano de polen existente en el aire hay de 100 a 1000 esporas de hongos, esto puede variar dependiendo de la humedad, la temperatura y el viento (Knutsen et al., 2012). En el interior de los edificios y estructuras cerradas también se evidencian esporas de hongos, estas provienen de hongos presentes en el exterior y de hongos que anteriormente han ido creciendo en las superficies húmedas (Knutsen et al., 2012).

Tabla 4
Distribución taxonómica de hongos que generan esporas alérgicas. Fuente: Knutsen et al., 2012

<i>Filo Oomycota</i>	<i>Phylum Ascomycota</i>	<i>Phylum Ascomycota</i> (continuación)	<i>Filo Basidiomycota</i>	<i>Phylum Zygomycota</i>
<i>Phytophthora</i>	<i>Acremonium</i>	<i>Eurolium</i>	<i>Agárico</i>	<i>Múcor</i>
	<i>Alternaria</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Calvatia</i>	

<i>Plasmopara</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Gliocladio</i>	<i>Cantharellus</i>	
	<i>Aureobasidium</i>	<i>Helmintosporio</i>	<i>Cyathus</i>	<i>Rhizopus</i>
	<i>Botryotrichum</i>	<i>Monilla</i>	<i>Ganoderma</i>	
	<i>Botrytis</i>	<i>Nigrospora</i>	<i>Geastrum</i>	
	<i>Cándida</i>	<i>Neurospora</i>	<i>Lentinus</i>	
	<i>Cefalosporio</i>	<i>Paecilomyces</i>	<i>Pleuroto</i>	
	<i>Chaetomium</i>	<i>Penicilium</i>	<i>Polyporus</i>	
	<i>Chrysosporium</i>	<i>Phoma</i>	<i>Psilocito</i>	
	<i>Claviceps</i>	<i>Pyrenochaeta</i>	<i>Puccinia</i>	
	<i>Coniosporium</i>	<i>Saccharomyces</i>	<i>Rhodotorula</i>	
	<i>Curvularia</i>	<i>Escopulariopsis</i>	<i>Serpula</i>	
	<i>Cylindrocarpon</i>	<i>Stachybotrys</i>	<i>Esporostricho</i>	
	<i>Daldinia</i>	<i>Stemphylium</i>	<i>Tilletia</i>	
	<i>Didymella</i>	<i>Torula</i>	<i>Urocystis</i>	
	<i>Drechslera</i>	<i>Tricodemia</i>	<i>Ustilago</i>	
	<i>Epicoco</i>	<i>Trichophyton</i>	<i>Wallemia</i>	
	<i>Erysiphe</i>	<i>Ulocladium</i>	<i>Xilobolo</i>	

5.2.6. Inmisión de aeroalérgenos y los efectos a la salud.

Según estudios clínicos y alérgicos, un aeroalérgeno será importante clínicamente cuando este posea grupos antigénicos específicos que puedan provocar respuestas de hipersensibilidad a los humanos y un nivel suficiente de concentración en el aire para generar una respuesta inmunológica por parte de los afectados (Miralles, 2009).

Existen diversos factores que influyen para que los aeroalérgenos generen efectos negativos en la salud de los seres humanos, entre los cuales tenemos:

- El lugar donde la persona se desarrolla en sus primeros años de vida, en un estudio realizado sobre la exposición de los niños a temprana edad con animales de granja y condiciones no optimas arrojó positivo la correlación de estos factores con una mayor

presencia de síntomas de asma, rinoconjuntivitis y eccema en estos niños cuando llegan a la edad de 6 y 7 años (Brunekreef, Von mutius, Wong, Odhiambo, & Clayton, 2012).

- El tipo de alimentación de la persona cuando era bebé, según un estudio donde se analizaron niños con edades de 6 a 7 años, se obtuvo como resultado que los niños que fueron alimentados con lactancia materna tienen menos posibilidades de sufrir de rinoconjuntivitis o eccema en un futuro (Björkstén et al., 2011).
- La inhalación de humo de cigarrillo a tempranas edades o cuando la mamá fuma mientras está embarazada, se analizaron 220.407 niños de 6 a 7 años y 350.654 niños de 13 a 14 años, obteniendo como resultados que los niños con padres que fumaban cuando tenían edades entre 1 mes y 12 meses son más propensos a padecer casos de asma, rinoconjuntivitis y eccema en algún momento de su vida (Mitchell, Beasley, Keil, Montefort, & Odhiambo, 2012)
- La región donde se encuentre ubicado también es un factor significativo, ya que el clima y las condiciones meteorológicas de una zona son determinantes para que los alérgenos generen efectos negativos en la salud de una población. Esto se puede evidenciar en las figuras 3 y 4, en estas se muestran estudios realizados a niños de 6 a 7 años y adolescentes de 13 a 14 años (Aït-Khaled et al., 2009).

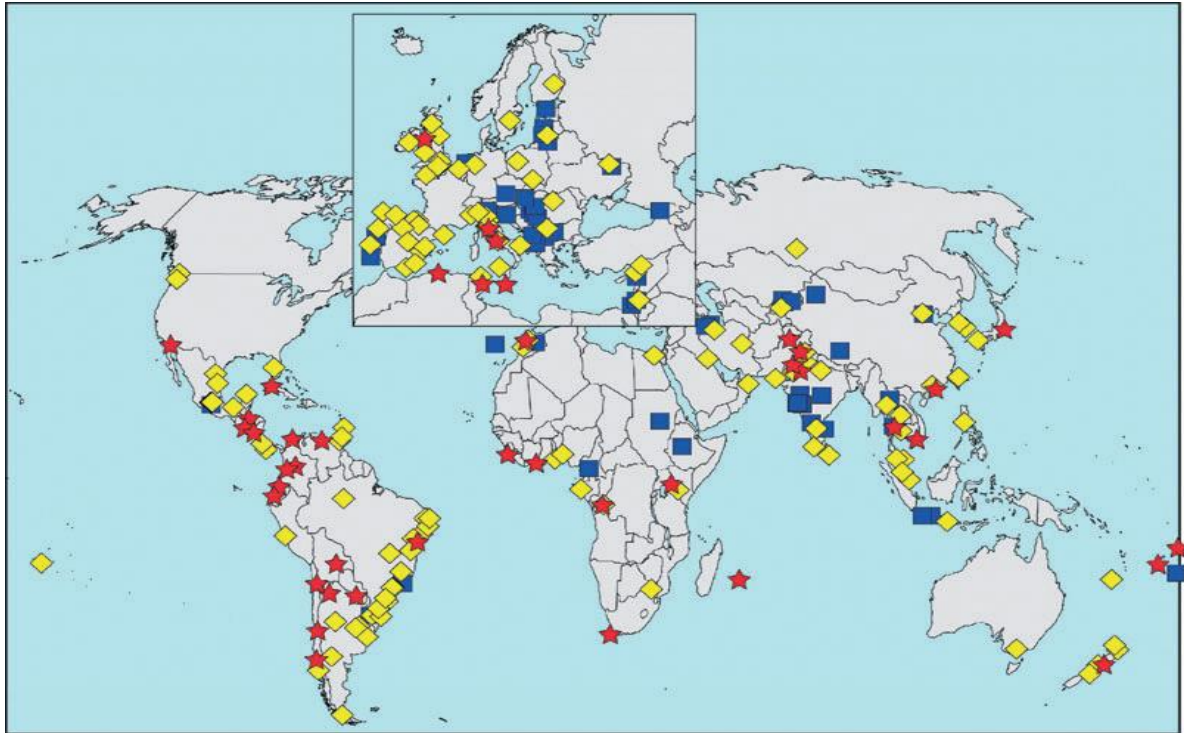


Figura 3. Mapa de prevalencia de síntomas actuales de rinoconjuntivitis, grupo de edad de 13 a 14 años. Los símbolos indican categorías de prevalencia de $\geq 20\%$ (estrellas rojas), ≥ 10 a $<20\%$ (diamantes amarillos) y $<10\%$ (cuadrados azules). Fuente: Aït-Khaled et al., 2009.

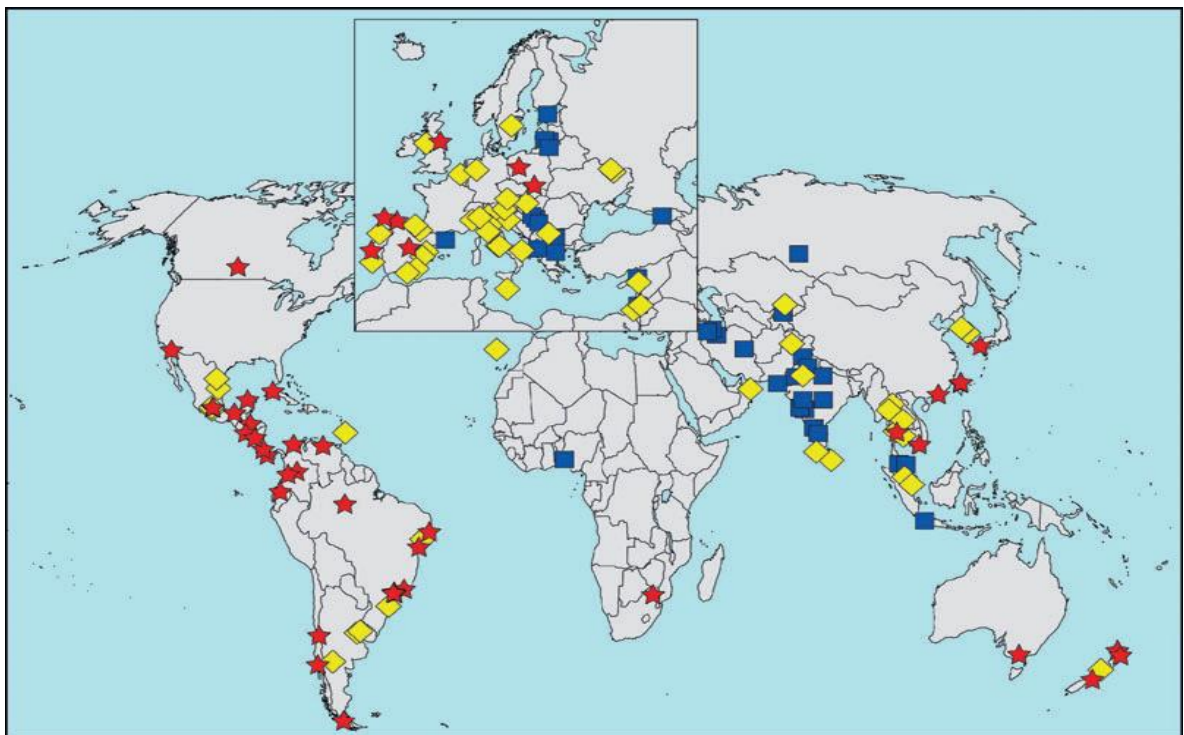


Figura 4. Mapa de prevalencia de síntomas actuales de rinoconjuntivitis, grupo de edad de 6 a 7 años. Los símbolos indican categorías de prevalencia de $\geq 10\%$ (estrellas rojas), ≥ 5 a $<10\%$ (diamantes amarillos) y $<5\%$ (cuadrados azules). Fuente: Aït-Khaled et al., 2009.

- La exposición a gatos y perros en el primer año de vida de los niños también es un factor que aumenta la posibilidad de que estos presenten síntomas de asma, rinoconjuntivitis y eccema en sus años futuros, especialmente entre los 6 y 7 años (Brunekreef et al., 2012).
- El sobrepeso y la actividad física son características que influyen negativamente en la salud al momento de entrar en contacto con aerolígenos, un estudio reveló que los pacientes con casos de asma y rinoconjuntivitis están asociados al consumo de comidas rápidas y falta de ejercicio físico en las personas, ya que las personas que consumen frecuentemente este tipo de comidas y poseen sobrepeso son las más propensas a sufrir de asma y rinoconjuntivitis (Mitchell et al., 2013).
- Por último, tenemos la alta concentración de estos en la atmósfera, siendo este el factor más relevante al momento de investigar la generación de efectos negativos de los alérgenos en la salud de los seres humanos, en la tabla 5 y 6 se puede apreciar un estudio realizado en la India, donde se correlacionaron la concentración del número de polen promedio durante 1 año junto con el número de pacientes nuevos que presentaron síntomas de rinitis alérgica (AR) y asma (Singh, Singh, Singh, Daya, & Singh, 2017).

Tabla 5

Recuento promedio de polen y número de pacientes nuevos con casos de rinitis asmática y alérgica durante Enero - Junio y su correlación. Fuente: Singh. et. al, 2017

	Average total/year	January	February	March	April	May	June
New OPD patients	1.692,5	82,5	102	154,5	169	91,5	80,5
Trees	2.441,5 (17)	21,5	57	1.388,5	274	84,5	22,5
Weeds	5.964,5 (41)	99	87,5	192,5	215,5	112,5	33,5
Grasses	6.054,5 (42)	77,5	101,5	295	398	169,5	52

Total Pollens/year	14.460,50	198	246	1.876	887,5	366,5	108
--------------------	-----------	-----	-----	-------	-------	-------	-----

Tabla 6

Recuento promedio de polen y número de pacientes nuevos con casos de rinitis asmática y alérgica durante Julio - Diciembre y su correlación. Fuente: Singh. et. al, 2017

	July	August	September	October	November	December	R
New OPD patients	116	145	167	262,5	224	98	
Trees	25	141,5	173	137	76,5	40,5	0,18
Weeds	140,5	1.373,5	2.570,5	543,5	343	253	0,3
Grasses	184,5	1.205	1.652	1.007,5	569	343	0,59
Total Pollens/year	350	2.720	4.395,5	1.688	988,5	636,5	0,46

En un estudio realizado en España, se encontraron resultados donde se evidencian los tipos de pólenes que pueden causar rinoconjuntivitis y asma, los cuales son los siguientes (Miralles, 2009):

Tabla 7

Pólenes causantes de rinoconjuntivitis y asma alérgico en España. Fuente: Miralles, 2009

Polen	Rinoconjuntivitis (%)	Asma (%)
<i>Poaceae</i>	77,54	83,5
<i>Olea</i>	46,7	50,5
<i>Parietaria</i>	17,6	15,4
<i>Artemisia</i>	14,2	14,1
Otros	12,7	14,6
<i>Cenizo</i>	11,4	10,9
<i>Arbustos</i>	4	3,5

Existen múltiples tipos de aeroalérgenos presentes en la atmósfera con la capacidad de causar enfermedades respiratorias en los seres humanos, entre los más comunes se encuentran esporas hongos que pertenecen al género *Penicillium*, que está conformada por más de 100 tipos de diferentes de especies. Estas partículas en altas concentraciones pueden producir

asma inmediata y tardía en personas sensibles, por lo general los niños y personas de la tercera edad son los más afectados, las especies más comunes que pertenecen al género de las *Penicillium* son *Penicillium citrinum*, *Penicillium chrysogenum* (*Penicillium notatum*), *Penicillium oxalicum*, *Penicillium brevicompactum* y *Penicillium spinulosum* (Knutsen et al., 2012).

Otro de los géneros de esporas de hongos que afectan notablemente la salud de los seres humanos es *Didymella*. Esta genera asma y diversos casos críticos de alergia en personas sensibles, llegando a causar hasta la muerte en algunos casos, por lo general estas partículas se correlacionan positivamente con la humedad, es decir, las precipitaciones generadas por el ambiente aumentan sus concentraciones presentes en la atmósfera. Con las condiciones meteorológicas favorables, las concentraciones de esta especie de espора de hongos pueden llegar a alcanzar hasta las 30.000 esporas/m³ en la atmósfera (Knutsen et al., 2012).

5.2.7. Métodos y equipos de monitoreo para granos polen y esporas de hongos.

5.2.7.1. Método volumétrico por succión

El funcionamiento de este tipo de captador está basado en el principio de impacto según la metodología propuesta por el modelo inicial diseñado por Hirst y su unidad de medida es polen/m³ o esporas/m³. Este es el método más común al momento de muestrear granos de polen y esporas, además que se encuentra implementado en todas las estaciones de muestreo de la REA (Red Española de Aerobiología) y su protocolo de funcionamiento. Los equipos comerciales que forman parte de este método son el VPPS 2000 de Lanzoni y el Burkard 7-day recorder spore-trap (Galán, Cariñanos, Alcázar, & Domínguez, 2007).

5.2.7.2. Método volumétrico por rotación

En comparación con los anteriores, estos son menos utilizados en monitoreos donde se requiere conocer la concentración de granos de polen y esporas de hongos, sin embargo, los captadores por rotación también poseen una gran utilidad al momento de realizar este tipo de muestreos, por esta razón en muchas estaciones ubicadas en Estados Unidos se ha implementado este método (García, 2010). El funcionamiento de estos se basa en que las masas de aire son forzadas a moverse en trayectorias de rotación o espiral y las partículas resultan discriminadas por la fuerza centrífuga generada (García, 2010).

5.2.7.3. *Método gravimétrico*

Estos se basan en el principio de la gravedad, ya que constan de superficies expuestas horizontalmente y en su superficie poseen una sustancia retentiva que tiene el objetivo de adherir las partículas que se encuentren en la atmósfera y sean depositadas en el muestreador gracias al peso de estas mismas, los resultados son dados en unidades granos/cm². Los captadores que funcionan con este tipo de método son las placas petri, el captador Durham y el captador Tauber (Bermejo, 2011).

5.2.7.4. *Método por filtración*

Se basan en la selección de partículas que están inmersas en la atmósfera dependiendo del tamaño que estas posean. Esta selección se realiza por medio de una membrana compuesta por diversos materiales que se encuentra ubicada en una veleta permite capturar las partículas de acuerdo a la dirección del viento. Los captadores que corresponde a este tipo de método son los filtros de fibra, el captador Cour, los filtros por membrana, los filtros por cassettes y el Captador McLeod MultiStage Liquid Impinger (Rodríguez, 2009).

6. Metodología

6.1. Área de estudio

El monitoreo se realizó en la ciudad de Barranquilla, específicamente en la Universidad de la Costa (CUC), la cual se encuentra ubicada en la parte sureste de la ciudad en las coordenadas 10°59'42.7"N 74°47'26.8"W, ya que el equipo captador de partículas es propiedad de la universidad y debía permanecer dentro de las instalaciones para garantizar la seguridad de este mismo. El equipo muestreador se ubicó en la azotea del bloque 9, el cual se posicionó sobre un trípode de metal, teniendo en cuenta que el equipo debe estar ubicado a 8 metros del nivel del suelo de acuerdo a la metodología propuesta en el manual de calidad y gestión de la REA (Galán et al., 2007).

6.2. Cuantificación de polen y esporas de hongos

6.2.1. Equipos y materiales

Para la elección del equipo de muestreo se tuvo en cuenta lo expresado en el Manual de Calidad y Gestión de la REA, donde se especifica la implementación de captadores de partículas volumétricos por succión, basándose en el principio de impacto, los cuales siguen el método de Hirst. En este caso, el captador de partículas volumétricas utilizado fue el muestreador VPPS 2000 Lanzoni (Figura 5), el cual posee una alta eficacia al momento de succionar partículas biológicas y no biológicas con tamaños entre 1 a 1000 micrómetros (De Benito Rica, 2003). Para este monitoreo, también se utilizó un microscopio DM750 de marca Leica (Figura 6) y Kit del muestreador VPPS 2000 Lanzoni, el cual contenía una cinta de acetato, un adhesivo que retiene las partículas succionadas, un fluido de silicona de marca LANZONI, una brocha con un diámetro similar a la cinta de Melinex, regla de metacrilato,

glicerogelatina, cutter, portaobjetos, cubreobjetos y la laca-esmalte transparente que se encarga de sellar las muestras para luego analizarlas (Galán et al., 2007).

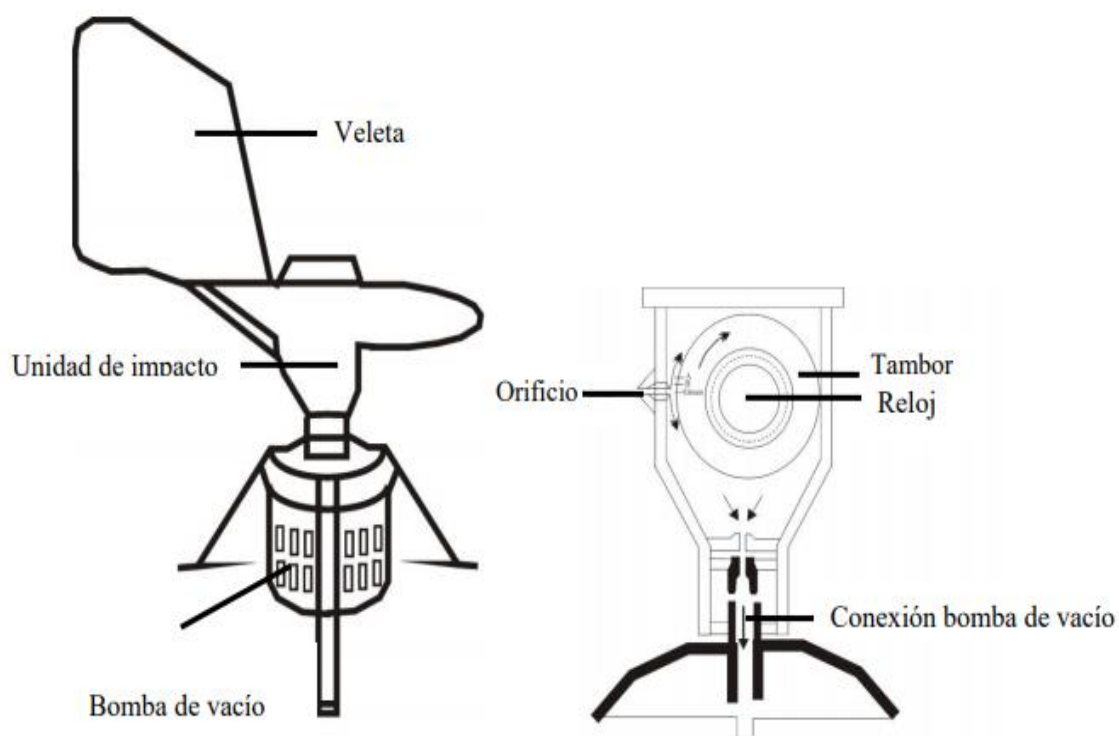


Figura 5. Muestreador VPPS 2000 Lanzoni. Fuente: De Benito, 2003.

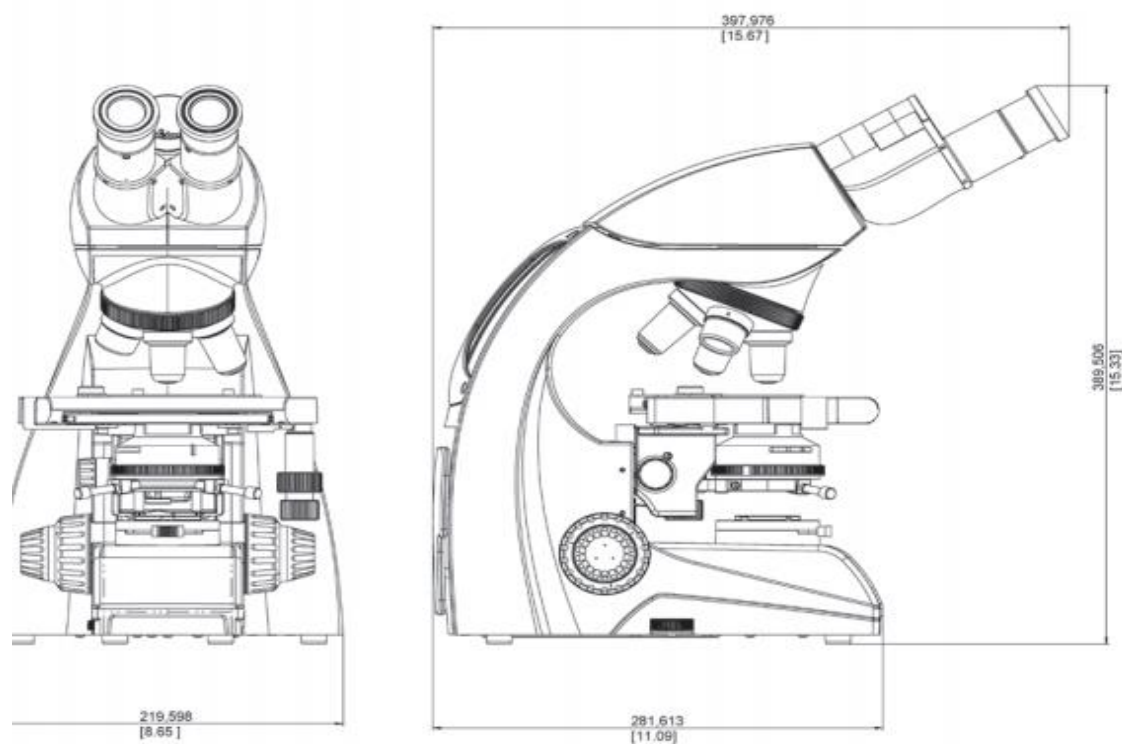


Figura 6. Microscopio DM750 de marca Leica. Fuente: Galán et al., 2007.

6.2.2. Preparación del Material para la toma de muestras

La preparación de las muestras de este monitoreo se realizó semanalmente y dió inicio en el laboratorio, donde primero se ubicó una cinta de acetato alrededor del tambor del Lanzoni, esta cinta se sujetó por medio de un adhesivo. Posteriormente se agregó la silicona de marca Lanzoni a la cinta de acetato utilizando la brocha que trae el kit. Luego, se introdujo el tambor dentro de un recipiente de cartón, con el fin que no se adhieran partículas en la cinta mientras se transportaba el tambor hasta el lugar donde se encontraba el muestreador. Por último, se verificó que el caudal de succión fuera el adecuado (10 litros/ min), si estaba correcto se procedía a girar la llave que conecta hacia el mecanismo de relojería, esta se giraba en contra de las manecillas del reloj hasta llegar al tope, luego se introdujo el tambor de forma adecuada dentro del muestreador, se cerró herméticamente el equipo y se liberó la veleta, este procedimiento se realizó semanalmente en cada monitoreo (Galán et al., 2007).

6.2.3. Toma de muestras

La toma de muestras se realizó en los meses de junio y julio del año 2018 para lo cual se procedió a ir al sitio donde estaba ubicado el muestreador y se retiró cuidadosamente el tambor, este se guardó en el recipiente estipulado para transportarlo hacia el laboratorio, lugar que estaba equipado con los instrumentos necesarios para tratar las muestras. El procedimiento que se realizó cada semana en el laboratorio era el siguiente: primero se retiraba la cinta de acetato del tambor y se fijaba en la regla con la ayuda de cinta adhesiva. Seguido a esto, con el cutter se realizaban los cortes de la cinta de acetato en fragmentos de 48mm, porción equivalente a un día de muestreo, hasta obtener los 7 fragmentos de cada semana. Luego, se preparaban los respectivos portaobjetos agregando a cada uno gotas de agua destilada para fijar en este cada fragmento de cinta con la muestra, siguiente a esto se agregaba unas gotas del glicerogelatina para teñir las partículas presentes en cada muestra, se

cubre con un cubreobjeto y se sella con la laca-esmalte transparente para luego rotular cada una de las muestras y almacenarlas en un recipiente específico de muestras de microscopía óptica (Galán et al., 2007).

6.2.4. Identificación y cuantificación del polen y esporas de hongos

Para desarrollar la correcta identificación de los granos de polen y de las esporas presentes en las muestras se usó el microscopio DM750 de Leica, con el objetivo 40x y el ocular 10x. También, se implementó el uso de literatura y atlas como base de apoyo para identificar por comparación la taxonomía de las partículas que estaban referenciadas. Adicionalmente, se recolectaron muestras de la flora de la región para la caracterización de las partículas que no se encontraran referenciadas dentro de la literatura (Belmonte, 2003). Posteriormente, según la REA se hace una cuantificación de las partículas obtenidas por medio de la fabricación de una lámina con 4 líneas horizontales marcadas para los granos de polen (Figura 7) y una lámina con 2 líneas horizontales para las esporas de hongo. Estas láminas se ubicaron en la parte inferior de cada una de las muestras y se realizó un recuento de los granos de polen y esporas encontrados (Galán et al., 2007).



Figura 7. Lámina de acetato utilizada para el recuento de granos de polen. Fuente: Galán et al., 2007.

6.2.5. Determinación de la concentración de polen y esporas de hongo en la ciudad de Barranquilla.

La concentración de los granos de polen se da en la unidad P/m^3 , lo que hace referencia a cuantos granos de polen existen en cada metro cúbico. Para la concentración de P/m^3 se determina por la siguiente fórmula (Belmonte, 2003):

$$\text{Concentración de polen} = N \times (A_m / A_a) / 14.4 \text{ m}^3$$

Dónde:

- N equivale al número de granos de polen en área analizada.
- A_m (Área de Muestra) equivale a “La ranura de entrada de aire” x “Los mm recorridos de cinta en un día”

$$A_m = 14 \text{ mm} \times 48 \text{ mm} = 672 \text{ mm}^2$$

- A_a (Área analizada) equivale a “La longitud de la cinta” x “Diámetro del objetivo de 40x” x “La superficie total de lectura (4 barridos)”

$$A_a = 48 \text{ mm} \times 0.65 \text{ mm} \times 4 = 124.8 \text{ mm}^2$$

- El 14.4 m^3 hace referencia al volumen de aire que ingresa en un día.

Obteniendo lo siguiente:

$$\text{Concentración de polen} = \text{Número de granos de polen} \times (672 \text{ mm}^2 / 124.8 \text{ mm}^2) / 14.4 \text{ m}^3$$

$$\text{Concentración de polen (P/m}^3\text{)} = N \times 0,37$$

Para hallar la concentración del número de esporas de hongos se realiza la misma ecuación, cambiando el valor de la superficie total de lectura, que en el caso de esporas es de 2, quedando de la siguiente manera:

$$\text{Concentración de esporas} = N \times (A_m / A_a) / 14,4 \text{ m}^3$$

Dónde:

- N equivale al número de esporas de hongos en área analizada.
- A_m (Área de Muestra) equivale a “La ranura de entrada de aire” x “Los mm recorridos de cinta en un día”

$$A_m = 14 \text{ mm} \times 48 \text{ mm} = 672 \text{ mm}^2$$

- A_a (Área analizada) equivale a “La longitud de la cinta” x “Diámetro del objetivo de 40x” x “La superficie total de lectura (2 barridos)”

$$A_a = 48 \text{ mm} \times 0.65 \text{ mm} \times 2 = 62,4 \text{ mm}^2$$

- El $14,4 \text{ m}^3$ hace referencia al volumen de aire que ingresa en un día.

Obteniendo lo siguiente:

$$\text{Concentración de esporas} = \text{Número de esporas de hongos} \times (672 \text{ mm}^2 / 62,4 \text{ mm}^2) / 14,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Concentración de esporas (P/m}^3\text{)} = N \times 2,912$$

6.2.6. Procesamiento de los datos

Después de finalizar el monitoreo realizado con el captador de partículas Lanzoni y la identificación de los granos de polen y esporas de hongos encontrados en los meses de junio y julio del año 2018, se utilizó el programa de Microsoft Excel para realizar un análisis de los resultados obtenidos. Se graficaron los promedios de las concentraciones de estos en los meses de junio y julio del año 2018, así mismo se graficó la sumatoria de las frecuencias de los granos de polen y esporas de hongos que aparecieron, con el fin de conocer cuáles fueron predominantes en los meses que se realizó el monitoreo.

Posteriormente, mediante figuras realizadas con el programa Microsoft Excel, se realizó un análisis de la trazabilidad entre las frecuencias totales de granos de polen y esporas de hongos identificadas en los meses de junio y julio del año 2018, con las registradas en estudios realizados en los mismos meses de los años 2008, 2009 y 2010 (Cepeda et al., 2013; A. Cepeda, Villalba, Parody, & Gamboa, 2018).

Por último, se realizó una comparación entre los granos de polen y esporas de hongos con potencial alergénico identificados en el monitoreo con los casos clínicos de alergia, rinitis y rinoconjuntivitis de la población de Barranquilla, suministrados por el consultorio de Alergias y Asmas del Doctor Alfonso Cepeda Sarabia. Todos los casos suministrados eran de pacientes cuyas pruebas cutáneas (pruebas cutáneas de hipersensibilidad inmediata, también conocidas como pruebas cutáneas de punción o prick test) (Rivas, 2018) arrojaron resultados positivos en la sensibilidad de aeroalérgenos específicos, por ende se relacionaron de manera sencilla estos datos.

7. Resultados y discusión

7.1. Concentración promedio de granos de polen y esporas de hongos en la ciudad de Barranquilla

En la ciudad de Barranquilla, específicamente en la Universidad de la Costa (CUC), se realizó un monitoreo de granos de polen y esporas de hongos presentes en la atmósfera a través del equipo Lanzoni 2000, de esto se obtuvieron como resultados las concentraciones promedio de los granos de polen y esporas de hongos identificados en los meses de junio y julio del año 2018, como se puede observar en las Tablas 8 y 9. Así mismo, en la parte de anexos se puede observar evidencias fotográficas tomadas al momento de la identificación de los granos de polen y esporas de hongos registradas en los meses muestreados.

Tabla 8

Concentración promedio de los granos de polen en los meses de junio y julio de 2018.

FAMILIA/GÉNERO/ESPECIE	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN TOTAL – JUNIO (polen/m ³)	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN TOTAL – JULIO (polen/m ³)
<i>Acalypha</i>	0,370	0,000
<i>Amaranthacea/Chenopodiaceae</i>	<u>0,740</u>	<u>1,249</u>
<i>Begonia</i>	<u>0,370</u>	<u>1,833</u>
<i>Boehmeria</i>	0,740	0,000
<i>Calliandra</i>	0,370	0,000
<i>Cecropiaceae</i>	<u>2,428</u>	<u>2,416</u>
<i>Celtis</i>	0,555	0,555
<i>Compuesta</i>	0,927	0,518
<i>Croton</i>	0,740	1,172
<i>Cyperaceae</i>	0,000	0,863
<i>Escallonia</i>	0,555	0,740
<i>Eucalyptus</i>	0,000	1,357
<i>Eugenia</i>	0,370	0,740
<i>Gramínea/Poáceas</i>	<u>2,052</u>	<u>1,943</u>
<i>Impatiens</i>	0,740	0,000
<i>Kalanchoe</i>	0,740	0,000
<i>Loranthaceae</i>	0,370	0,740

<i>Miconia</i>	<u>0,740</u>	<u>2,128</u>
<i>Moraceae</i>	<u>1,886</u>	<u>2,014</u>
<i>Persea</i>	0,925	0,370
<i>Pilea</i>	0,592	0,863
<i>Pinus</i>	0,555	0,000
<i>Piperaceae</i>	1,152	1,906
<i>Piptadenia</i>	0,370	0,555
<i>Plantago</i>	0,740	0,740
<i>Rapanea</i>	0,925	0,370
<i>Ricinus</i>	0,370	0,000
<i>Rumex</i>	0,887	0,908
<i>Sorocea</i>	0,000	0,370
<i>Trema</i>	0,370	0,370

Tabla 9

Concentración promedio de las esporas de hongos en los meses de junio y julio de 2018

FAMILIA/GÉNERO/ESPECIE	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN TOTAL – JUNIO (esporas/m ³)	PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN TOTAL – JULIO (esporas/m ³)
<i>Alternaria</i>	13,52	31,20
<i>Ascospora</i>	<u>95,37</u>	<u>124,57</u>
<i>Aspergillus/Penicillium</i>	53,06	51,58
<i>Basidiospora</i>	<u>75,09</u>	<u>118,29</u>
<i>Boletoides</i>	34,94	0,00
<i>Botrytis</i>	5,82	0,00
<i>Cercospora</i>	0,00	25,38
<i>Cladosporium</i>	<u>103,11</u>	<u>177,51</u>
<i>Coprinus</i>	17,47	0,00
<i>Curvularia</i>	187,34	34,94
<i>Drechslera</i>	30,65	24,61
<i>Fusarium</i>	10,82	12,23
<i>Leptosphaeria</i>	5,82	0,00
<i>Nigrospora</i>	27,32	40,35
<i>Periconia</i>	14,92	19,66
<i>Pithomyces</i>	64,59	11,65
<i>Rusts</i>	26,79	24,96
<i>Smuts</i>	82,99	28,15
<i>Spegazzinia</i>	2,91	2,00
<i>Stemphylium</i>	2,18	2,00
<i>Tetraploa</i>	2,91	0,00
<i>Torula</i>	12,42	18,82
<i>Venturia</i>	81,75	70,14

En la Tabla 8 se puede apreciar que los granos de polen con los valores más elevados de concentración promedio en los meses de junio y julio fueron las familias *Cecropiaceae*, seguido de las *Gramíneas* y *Moraceae*, además se puede observar que la familia *Amaranthaceae/Chenopodiaceae* y los géneros *Begonia* y *Miconia* tuvieron una elevación sustancial en su promedio de concentración en el mes de julio con respecto al resultado obtenido en el mes de junio. Mientras que las esporas de hongos con los valores más elevados de concentración promedio en el tiempo de muestreo fueron *Ascosporas*, *Cladosporium* y *Basidiosporas* como se puede observar en la Tabla 9.

Seguido a esto, se desarrolló un análisis de los datos por medio de gráficas de las concentraciones totales de granos de polen y esporas de hongos, registrados en los meses de junio y julio del año 2018. Adicionalmente, se identificaron las familias/géneros/especies de granos de polen y esporas de hongos predominantes en los meses del muestreo.

Por último, se realizaron gráficos comparativos entre las frecuencias de los granos de polen y esporas de hongos monitoreados en los meses de junio y julio de 2018 con los reportados en otro estudio de los años 2008, 2009 y 2010 en los mismos meses.

7.2. Análisis de datos

7.2.1. Gráficos de concentración y frecuencia

Con base a los datos que se presentan en las Tablas 8 y 9, se graficaron las concentraciones totales de granos de polen y esporas de hongos en cada uno de los días muestreados durante los meses de junio y julio del año 2018, como se aprecia en las Figuras 8 y 9.

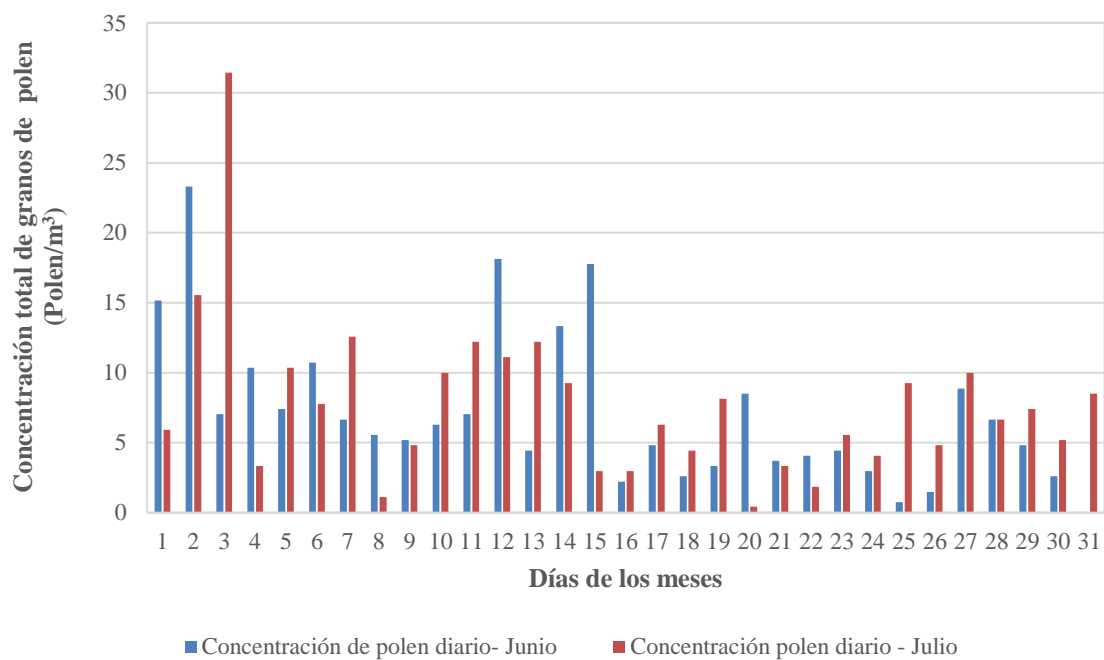


Figura 8. Concentración total diaria de los granos de polen en los meses de junio y julio del año 2018.

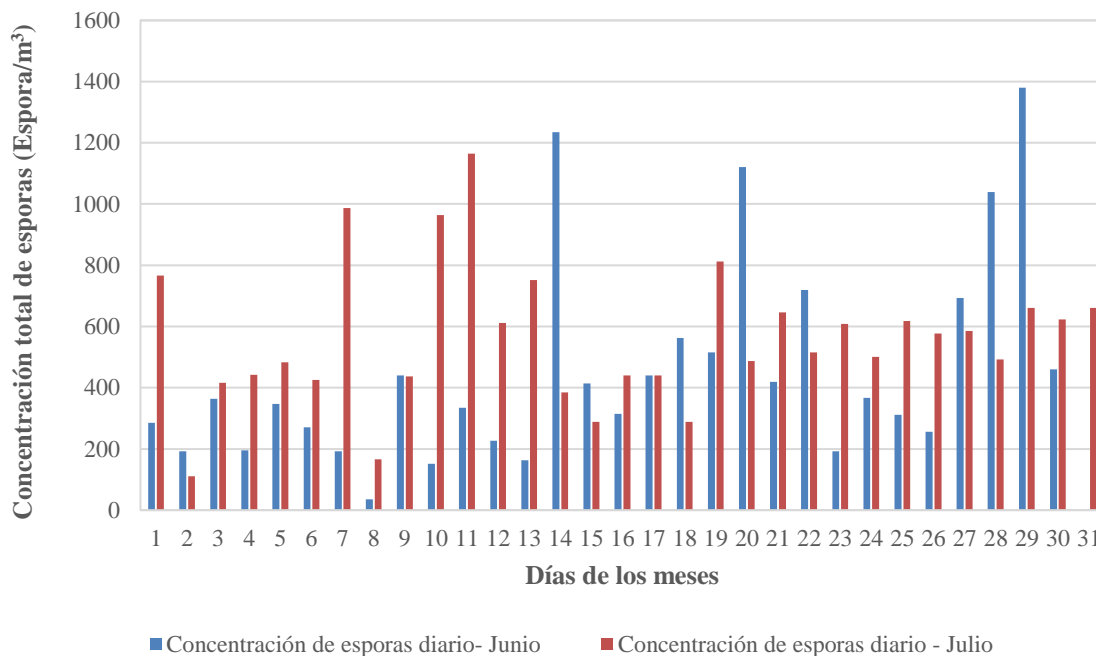


Figura 9. Concentración total diaria de esporas de hongos en los meses de junio y julio del año 2018.

Como se evidencia en la Figura 8, en el tercer día del mes de julio se registró el valor más elevado de concentración de granos de polen en el tiempo monitoreado, mientras que en el mes de junio el segundo valor más elevado con respecto a lo muestreado fue en el día número dos; en los siguientes 11 días de cada mes la mayoría de los valores de las concentraciones de granos de polen fueron similares entre sí, pero con una leve disminución con respecto a los primeros tres días de los meses de junio y julio, mientras que en los últimos días de cada mes se evidenció un cambio drástico registrándose los valores más bajos de concentración de granos de polen, por esto se puede concluir que los primeros 15 días de los meses de junio y julio del año 2018, se generó la mayor concentración de granos de polen muestreados en la ciudad de Barranquilla.

Es posible que las concentraciones de granos de polen y esporas de hongos fueron influenciadas por las altas temperaturas y escasos días de lluvia que se presentaron en la ciudad de Barranquilla en estos meses, sumado a esto, a finales del mes de julio se reportó un incremento en la velocidad del viento a raíz del gradiente de presión presentado en el

descenso de las altas presiones de las Bermudas junto a la Zona de Convergencia Intertropical (DIMAR, 2007), lo cual pudo incidir en que los registros de las concentraciones de granos de polen y esporas de hongos que se presentaron en los últimos días del mes de julio fueran mayores con respecto a los últimos del mes de junio.

Sobre los datos de las esporas de hongos se evidenció en la Figura 9, que en el lapso del tiempo de los últimos 16 días del mes de junio hasta los primeros 13 días del mes de julio, se reportaron los valores más elevados de la concentración de estas, además, se observó que el comportamiento de las esporas de hongos fue más regular en el mes de julio en comparación con lo registrado en el mes de junio.

Adicionalmente, se realizó un conteo con el fin de conocer cuáles fueron las familias/géneros/especies prevalentes de granos de polen y esporas de hongos durante los meses de junio y julio del 2018, siendo *Gramínea* y *Cecropiaceae* las familias de granos de polen más frecuentes en los meses de junio y julio respectivamente, mientras que para esporas de hongos las especies más prevalentes fueron *Ascospora* en el mes de junio y *Cladosporium* en el mes de julio, lo cual se puede observar en las Figuras 10, 11, 12 y 13.

La prevalencia de estos tipos de granos de polen podría ser por la ubicación del bosque subxerófilo caducifolio con respecto a la ciudad de Barranquilla, ya que este se encuentra al oeste y suroeste de la ciudad, dentro de la vegetación representativa de este bosque se encuentra una gran cantidad de tipos de arbustos como *Belencita nemorosa*, *Capparis pachaca* y *Capparis tenuisiliqua*, los cuales los granos de polen que producen pertenecen a la familia Gramíneas (Rangel, 2011).

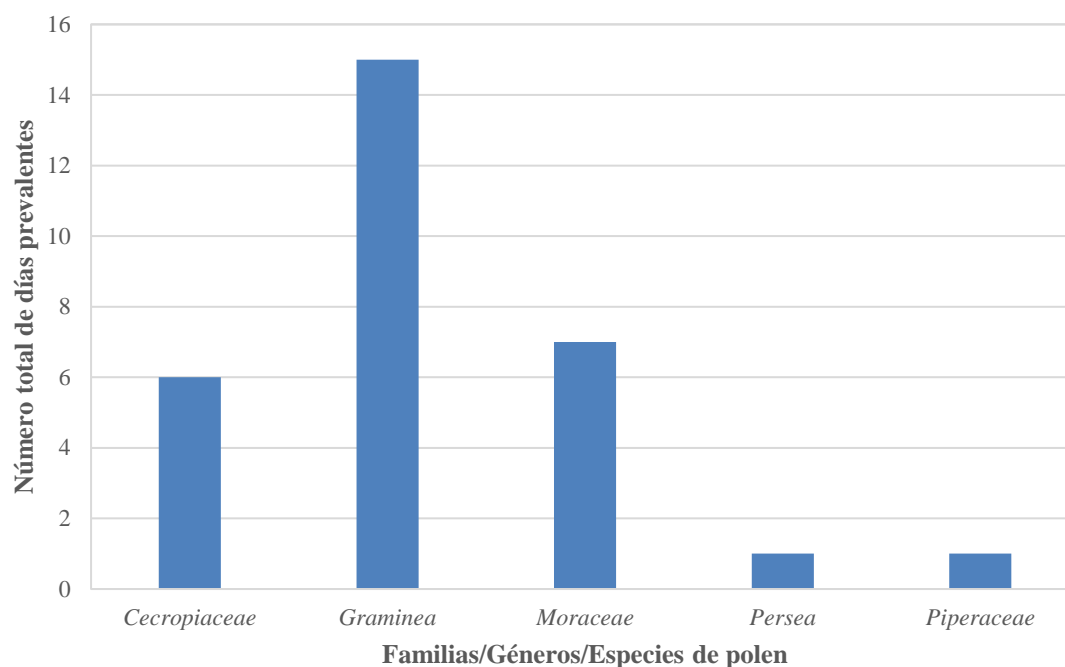


Figura 10. Familias/Géneros/Especies de granos de polen prevalente en el mes de junio de 2018.

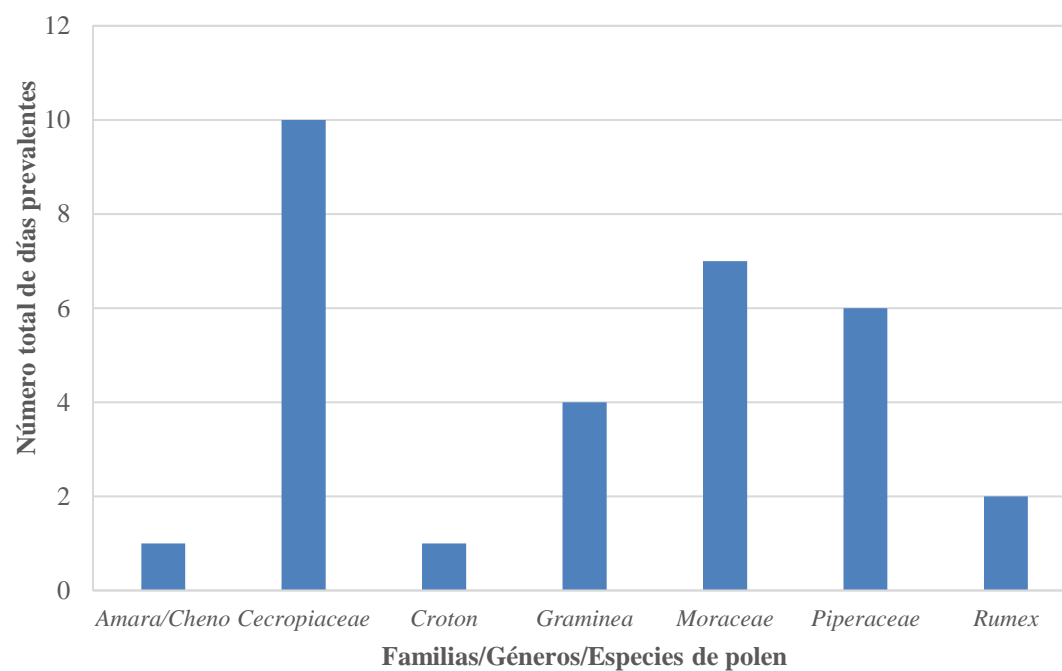


Figura 11. Familias/Géneros/Especies de granos de polen prevalente en el mes de julio de 2018.

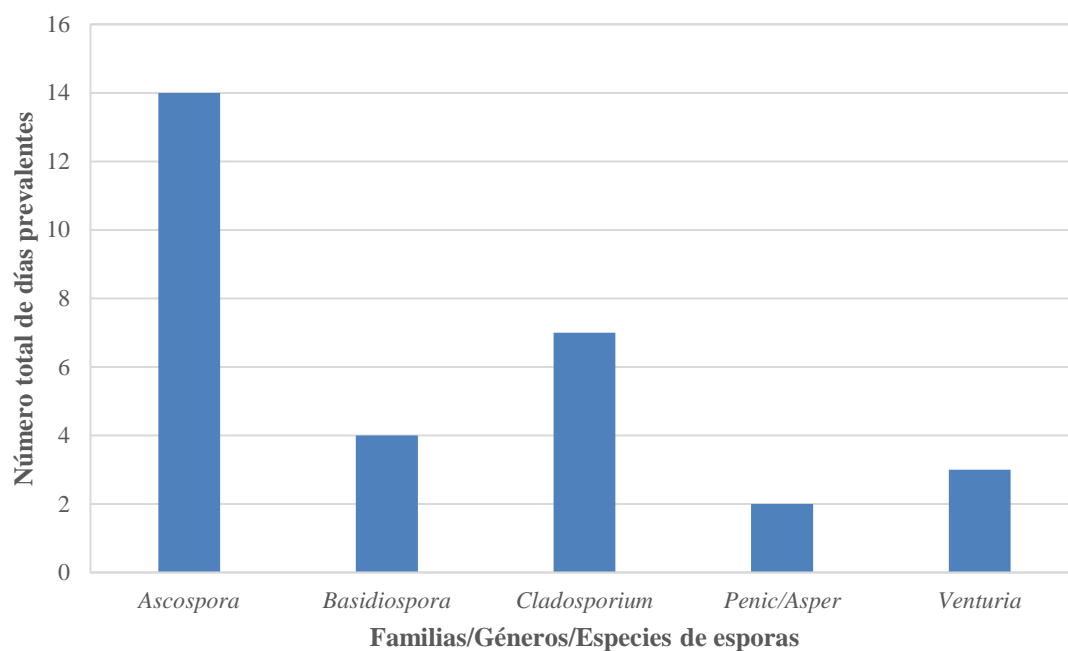


Figura 12. Familias/Géneros/Especies de esporas de hongos prevalentes en el mes de junio de 2018.

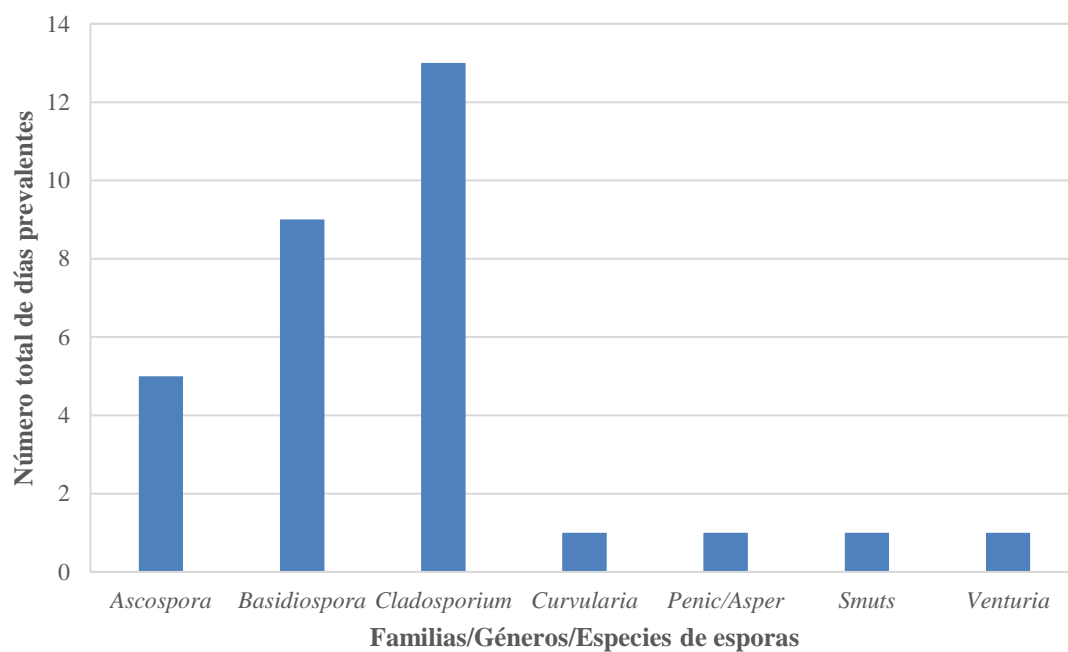


Figura 13. Familias/Géneros/Especies de esporas de hongos prevalente en el mes de julio de 2018.

7.2.2. Comparación de resultados de las frecuencias de granos polen y esporas de hongos en los meses de junio y julio entre años 2008, 2009, 2010 y 2018.

Desde la Figura 14 hasta la 21, se pueden observar las figuras comparativas entre las frecuencias de los granos de polen y esporas de hongos que estuvieron presentes en el monitoreo de los meses de junio y julio del año 2018, con los resultados obtenidos del estudio realizado entre los años 2008, 2009 y 2010 (Cepeda et al., 2013; A. Cepeda, Villalba, Parody, & Gamboa, 2018). Cabe aclarar que, en el monitoreo de los años 2008, 2009 y 2010 se utilizó un equipo captador de partículas volumétricas Tipo Hirst y se implementó la metodología propuesta en el Manual de Calidad y Gestión de la REA, para la cuantificación e identificación de granos de polen y esporas de hongos, la cual fue la misma metodología implementada en este estudio. Estos resultados fueron suministrados directamente por los autores de los estudios realizados entre 2008 y 2010, para efectos de comparación (Cepeda et al., 2013; A. Cepeda, Villalba, Parody, & Gamboa, 2018).

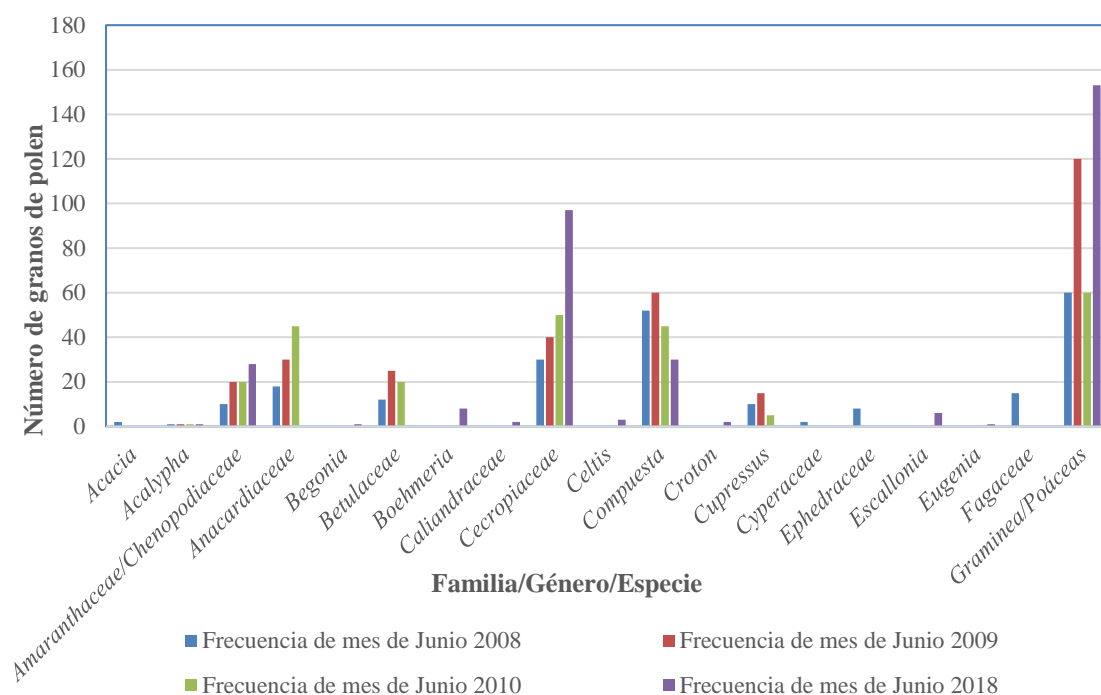


Figura 14. Frecuencia de granos de polen en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).

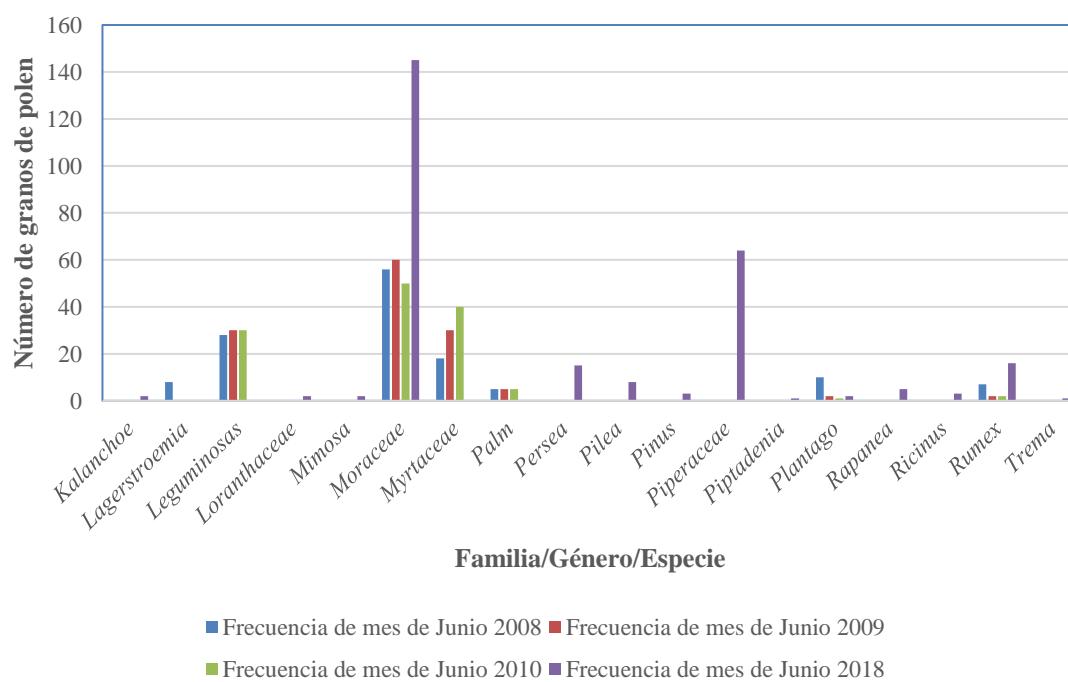


Figura 15. Frecuencia de granos de polen en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).

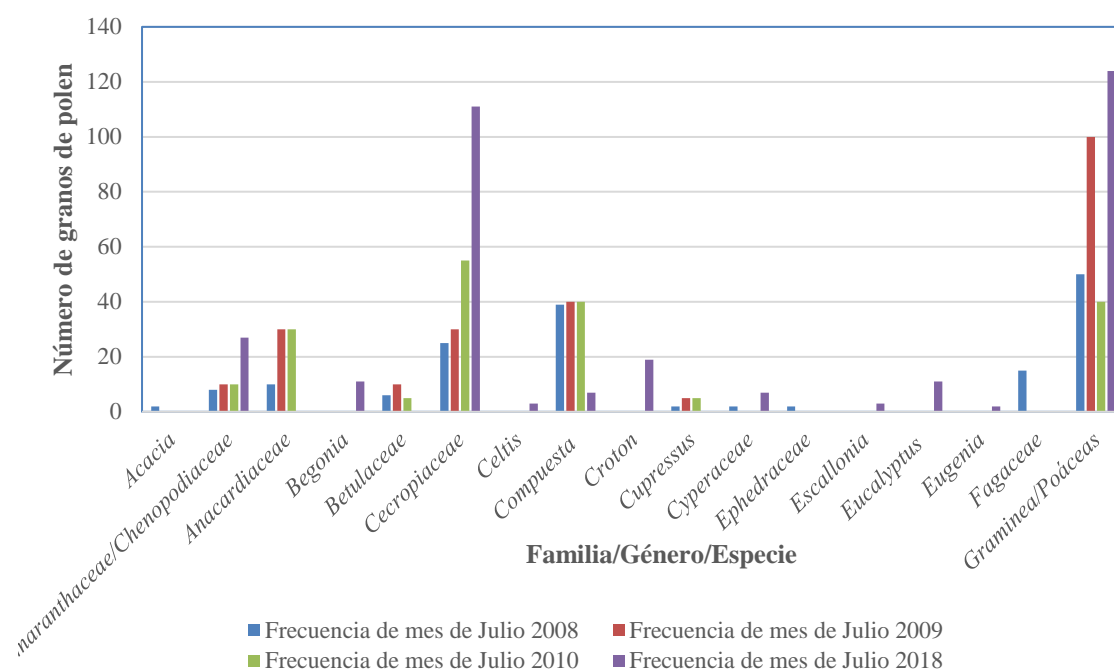


Figura 16. Frecuencia de los granos de polen en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).

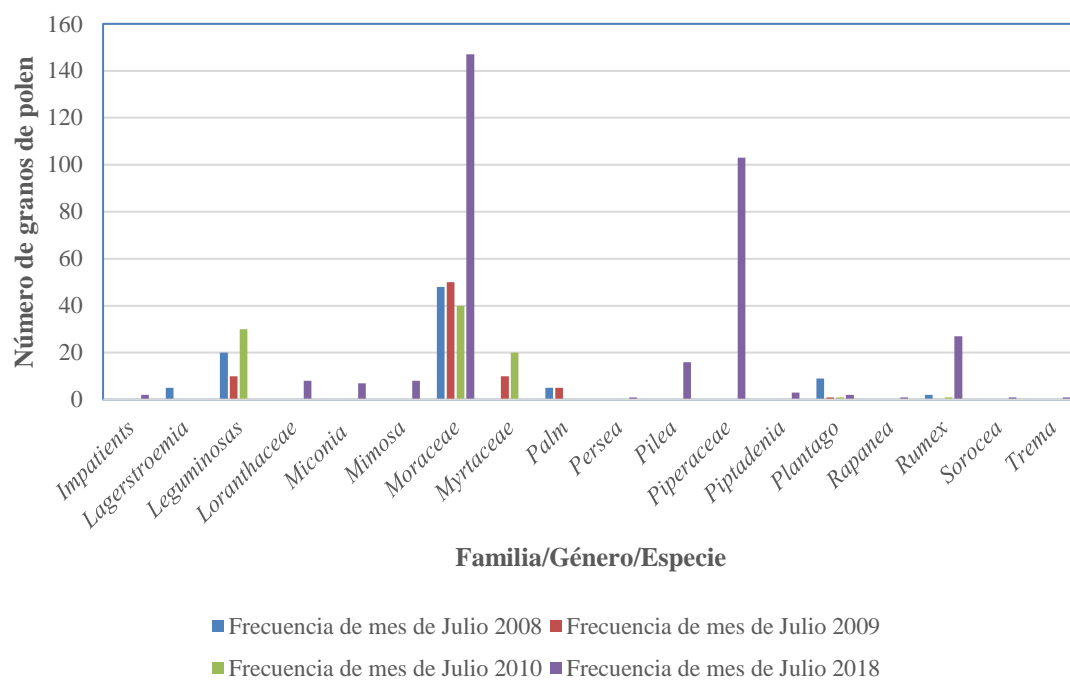


Figura 17. Frecuencia de los granos de polen en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).

Como se puede observar en las Figuras 14, 15, 16 y 17 los granos de polen que fueron frecuentes en el mes de junio y julio durante los 4 años son las familias

Amaranthaceae/Chenopodiaceae, Cecropiaceae, Gramíneas, Moraceae y Compuesta y el género *Plantago*, además, se observó que la mayoría de estas se presentaron con mayor frecuencia en el muestreo del 2018 a excepción de *Compuesta* y *Plantago*.

Por otro lado, se evidenció que las familias *Anacardiaceae, Betulaceae y Leguminosae* y el género *Cupressus* se presentaron en los meses de junio y julio de estudios anteriores y no en el monitoreo del año 2018, así mismo, se registraron géneros que estuvieron presentes en el año 2018 y no en el estudio de años anteriores, como lo son *Begonia, Croton, Escallonia, Eugenia, Mimosa, Persea, Pilea, Piptadenia, Rapanea y Trema* y las familias *Loranthaceae* y *Piperaceae*.

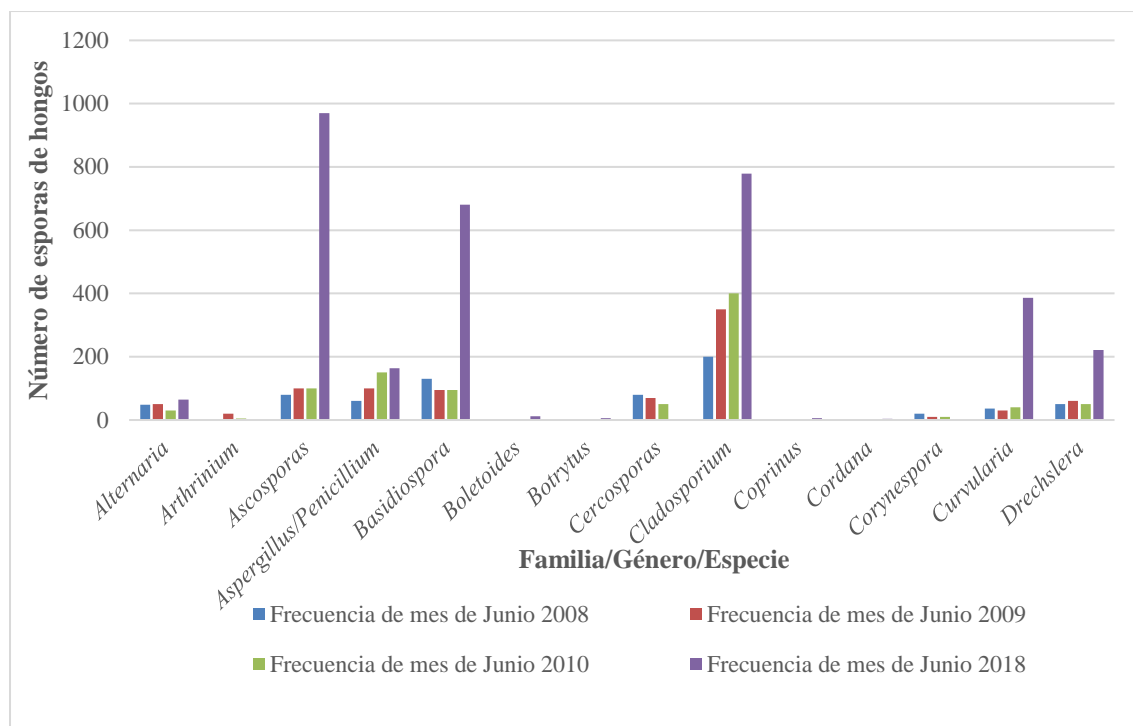


Figura 18. Frecuencia de esporas de hongos en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).

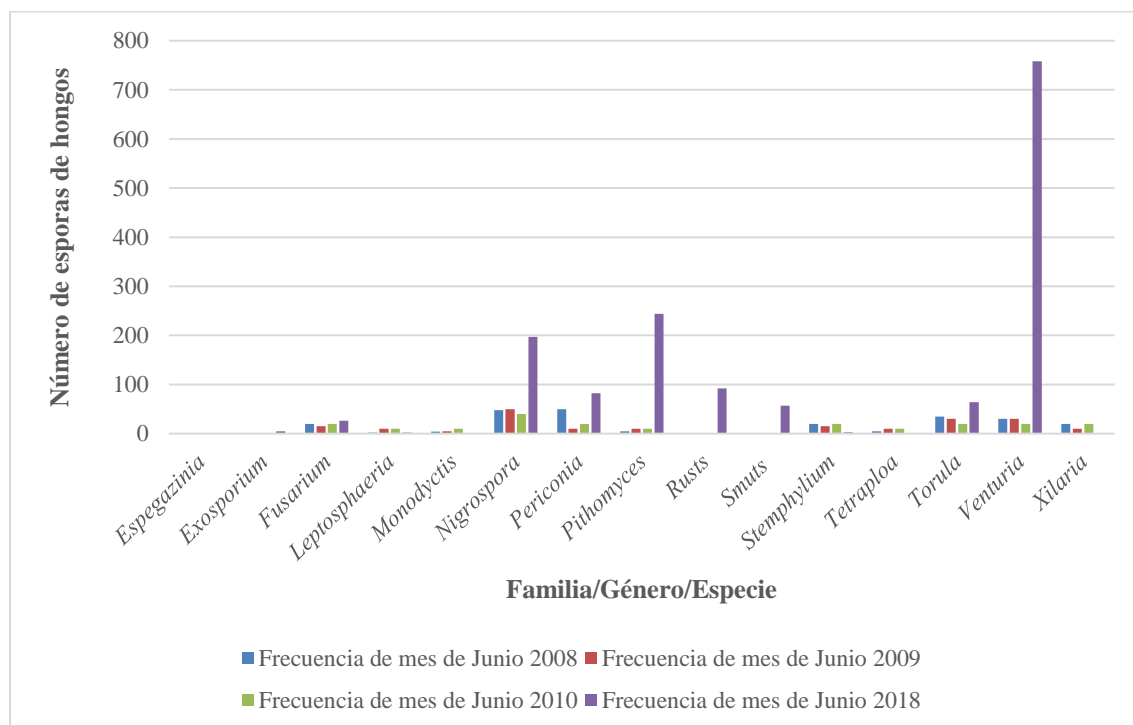


Figura 19. Frecuencia de esporas de hongos en el mes de junio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).

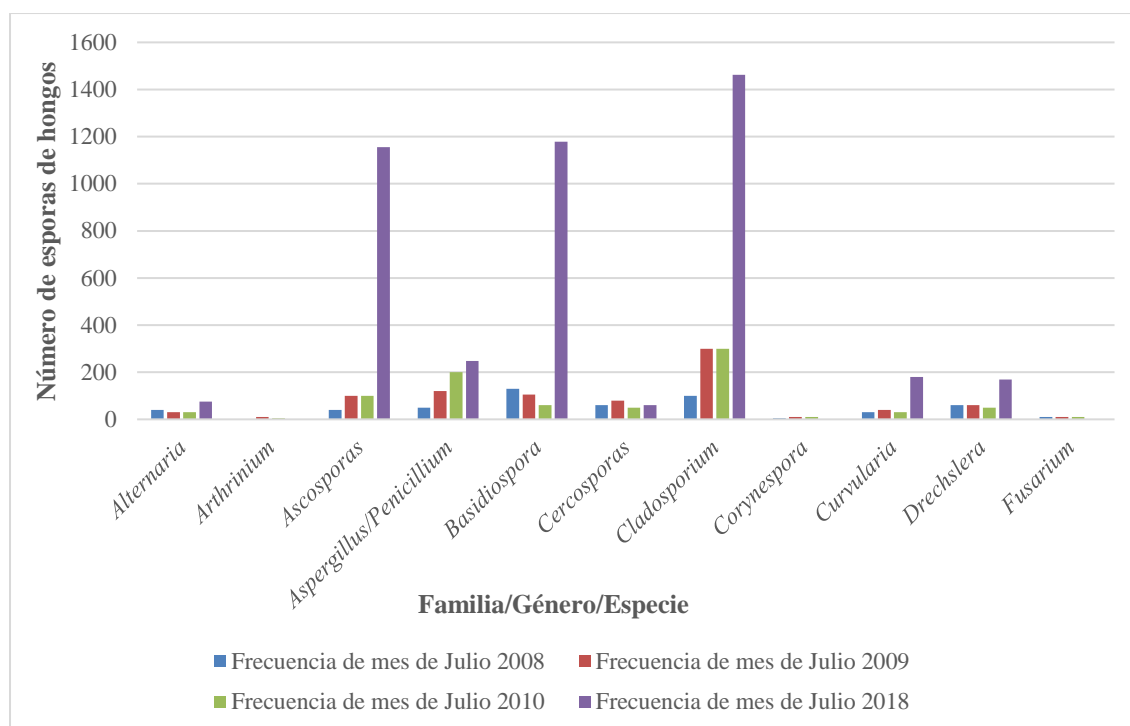


Figura 20. Frecuencia de esporas de hongos en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 1).

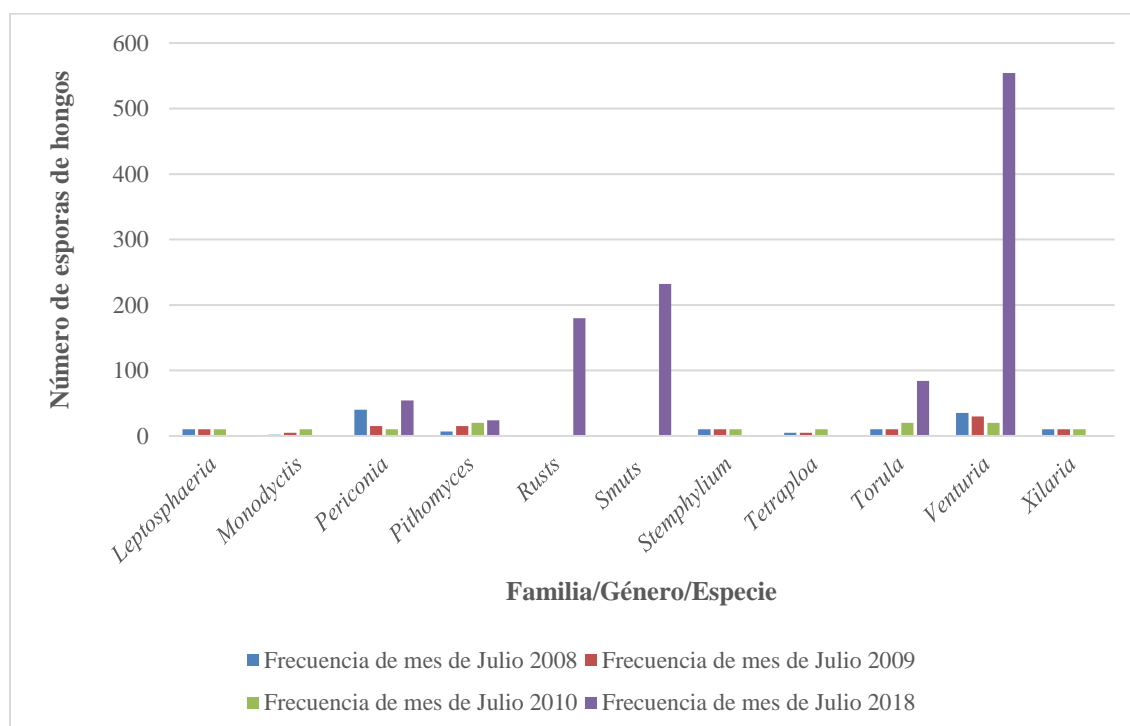


Figura 21. Frecuencia de esporas de hongos en el mes de julio de los años 2008-2009-2010 y 2018. (Parte 2).

Como se puede apreciar en las Figuras 18, 19, 20 y 21, las esporas de hongos que se presentaron en los meses de junio y julio a lo largo de los 4 años fueron *Alternaria*, *Ascospora*, *Aspergillus/Penicillium*, *Basidiospora*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Periconia*, *Pithomyces*, *Stemphylium*, *Torula* y *Venturia*.

También se evidenció que las siguientes esporas de hongos *Corynespora*, *Stemphylium*, *Tetraploa* y *Xilaria* se presentaron en los meses de junio y julio de estudios anteriores y no en el del año 2018, así mismo, se registraron tipos que estuvieron presentes en el año 2018 y no en el estudio de años anteriores, como lo son *Rusts* y *Smuts*.

De este análisis comparativo entre el estudio realizado en los meses de junio y julio de los años 2008, 2009, 2010 con el monitoreo del año 2018, se puede evidenciar que los niveles de granos de polen y esporas de hongos han aumentado significativamente con el pasar de los años.

7.3. Relación existente entre los granos de polen y esporas de hongos alérgenos con los casos clínicos de alergia, rinitis y rinoconjuntivitis de la población de Barranquilla.

En la tabla 10 se presenta la frecuencia de los granos de polen y esporas de hongos con potencial alérgico registradas en el muestreo que se realizó en los meses de junio y julio del año 2018, así mismo, en las siguientes tablas se muestran algunos de los casos clínicos que fueron positivos a las pruebas cutáneas sobre alergias, rinitis y rinoconjuntivitis en dicho lapso de tiempo. Esta información fue suministrada por el consultorio de Alergias y Asmas del Doctor Alfonso Cepeda Sarabia, especialista en Alergología de la ciudad de Barranquilla.

Tabla 10

Frecuencia de granos de polen y esporas de hongos con potencial alérgico monitoreados en los meses de junio y julio del 2018

Alérgeno	Junio	Julio	Nivel de alergenidad
<i>Gramínea</i>	153	124	Alto
<i>Alternaria</i>	65	75	Alto
<i>Cladosporium</i>	779	1.463	Alto
<i>Fusarium</i>	26	21	Bajo
<i>Aspergillus/Penicillium</i>	164	248	Alto

Tabla 11

Casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica en la ciudad de Barranquilla del mes de junio de 2018.

Sexo de paciente	Edad	Reacciones alérgicas	Alérgeno	Presencia SI/NO
Masculino	11 años	Dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	9 años	Dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	42 años	Dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	28 años	Dermatitis	<i>Alternaria</i>	NO
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	NO
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	SI
Masculino	5 años	Rinitis alérgica moderada y conjuntivitis alérgica leve	<i>Alternaria</i>	NO
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	8 meses	Rinitis crónica y conjuntivitis crónica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	NO
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO

Masculino	2 años	Rinitis alérgica, conjuntivitis alérgica y dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	11 años	Rinitis alérgica	<i>Alternaria</i>	NO
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	NO
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	SI
Masculino	5 años	Dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	NO
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	26 años	Rinitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	7 años	Rinitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	NO
Masculino	48 años	Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Femenino	33 años	Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
Femenino	45 años	Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	SI

Tabla 12

Casos clínicos de pacientes con sensibilidad alérgica en la ciudad de Barranquilla del mes de julio de 2018

Sexo de paciente	Edad	Reacciones alérgicas	Alérgeno	Presencia SI/NO
Masculino	7 años	Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
			<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO

			<i>Gramínea</i>	NO
			<i>Alternaria</i>	SI
Masculino	14 años	Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	NO
		Asma leve, piodermatitis	<i>Alternaria</i>	SI
Masculino	17 años	recurrente y dermatitis atópica.	<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	SI
		Rinitis alérgica, conjuntivitis alérgica y asma leve.	<i>Alternaria</i>	NO
Femenino	24 años		<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	NO
			<i>Alternaria</i>	SI
Femenino	53 años	Rinitis alérgica	<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	NO
			<i>Alternaria</i>	SI
Femenino	34 años	Rinitis alérgica	<i>Aspergillus/Penicillium</i>	NO
			<i>Fusarium</i>	NO
			<i>Gramínea</i>	SI
		Rinitis alérgica, conjuntivitis alérgica y dermatitis atópica	<i>Alternaria</i>	SI
Femenino	15 años		<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	SI
		Rinitis alérgica y conjuntivitis alérgica	<i>Alternaria</i>	SI
Femenino	15 años		<i>Aspergillus/Penicillium</i>	SI
			<i>Fusarium</i>	SI
			<i>Gramínea</i>	NO

En una muestra de las pruebas cutáneas de alergia o de hipersensibilidad inmediata de los meses de junio y julio del año 2018, la mayoría de los resultados en los pacientes sobre los alérgenos *Alternaria* y *Aspergillus/Penicillium* fueron positivas, mientras que hubo menor positividad a *Fusarium* y *Gramínea*. La mayoría de pacientes cuyos resultados fueron positivos sobre los alérgenos *Alternaria* y *Aspergillus/Penicillium*, presentaron reacciones alérgicas como dermatitis atópica, conjuntivitis alérgica y rinitis alérgica. También se pudo apreciar que a pesar de que el *Cladosporium* es una espora de hongo con alto potencial

alergénico y presentarse con un alto nivel de frecuencia en la atmósfera de la ciudad de Barranquilla en el mes de junio, ninguna de las reacciones alérgicas de los pacientes era causada por esta.

Dentro del grupo de pacientes, de 8 meses a 15 años de edad se presentaron más patologías alérgicas, como contraste, en sus pruebas sólo salían positivos entre uno y dos alérgenos, los cuales en su mayoría eran *Alternaria* y *Aspergillus/Penicillium*.

Además de esto, se observó que la mayoría de los casos presentados de los pacientes eran de sexo masculino que en su gran parte correspondían a niños y jóvenes, mientras que los pocos casos que se presentaron en el sexo femenino eran adultos y presentaban casos más severos que el sexo opuesto.

8. Conclusiones

En el presente trabajo se evidenció que existen múltiples tipos de granos de polen y esporas de hongos inmersos en la atmósfera de la ciudad de Barranquilla, algunos en elevadas concentraciones como lo son *Gramíneas*, *Moraceae* y *Cecropiaceae* para polen y *Cladosporium* y *Ascosporas* para esporas de hongos. Sumado a esto, se logró tener un mayor conocimiento sobre los efectos negativos que estos pueden generar en la salud de los seres humanos.

Al analizar las concentraciones de junio y julio se encontró que en el principio de los meses es mayor la concentración de granos de polen que en la segunda parte de estos meses, mientras que para las esporas de hongos en el mes de julio se presentaron concentraciones con un comportamiento más regular y más elevadas con respecto a junio, esto probablemente se debe a las variables meteorológicas que se presentaron en esa época, como lo son el aumento de las temperaturas y los pocos días que hubieron precipitaciones, sumado a esto, el aumento de la velocidad del viento.

Así mismo, se encontró que las concentraciones totales de granos de polen y esporas de hongos registrados en los meses de junio y julio del 2018 fueron superiores a las del 2008, 2009 y 2010, además se observó que algunos granos de polen y esporas de hongos estuvieron presentes en el monitoreo del 2018 y ausentes en el estudio de años anteriores.

Por último, por medio de las pruebas cutáneas realizadas en los meses de junio y julio del año 2018 en el consultorio de Alergias y Asmas de Barranquilla, se puede concluir que los niños y adolescentes son más susceptibles a los efectos negativos generados por los alérgenos que están inmersos en la atmósfera en comparación con los adultos, debido a que los primeros tienen un ritmo respiratorio más acelerado y poseen un sistema respiratorio que aún se encuentra en proceso de maduración, lo cual los hace más propensos a presentar

sensibilidad alérgica a este tipo de partículas como lo son la dermatitis atópica, conjuntivitis alérgica y rinitis alérgica.

9. Recomendaciones

Los estudios de aerobiología son fundamental para el conocimiento de las diversidades y concentraciones de las partículas vivas que se encuentran suspendidas en la atmósfera, por esto se recomienda la realización de un calendario espora-polínico para obtener las concentraciones de partículas con potencial alergénico que estén inmersas en la atmósfera a lo largo del año en la ciudad de Barranquilla y así tener un mayor conocimiento sobre los efectos negativos que estos causan en la salud del ser humano.

Así mismo, se recomienda la creación de una palinoteca y herbario con el objetivo de proporcionar información sobre la vegetación que se presenta en la ciudad de Barranquilla y tener conocimiento sobre de qué tipos de árboles proviene cada grano de polen presente en la región.

Es importante resaltar que, con respecto a conocer sobre las posibles causas de la aparición de específicos tipos de granos de polen y esporas de hongos en la ciudad de Barranquilla, se desarrolle un estudio donde se evalúe la correlación existente entre las variables meteorológicas de la ciudad con las concentraciones de granos de polen y esporas de hongos que se encuentren en la atmósfera.

10. Referencias

- Ait-Khaled, N., Pearce, N., Anderson, H. R., Ellwood, P., Montefort, S., Shah, J., ... Wong, G. (2009). Global map of the prevalence of symptoms of rhinoconjunctivitis in children: The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Phase Three. *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 64(1), 123–148. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2008.01884.x>
- Alzate, F., Quijano, M. A., Alvarez, A., & Fonnegra, R. (2015). Atmospheric pollen and spore content in the urban area of the city of Medellin, Colombia. *Hoehnea*, 42(1), 9–19. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-52/2013>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, (34), 195–213. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000100012
- Arias, T. A., Baltasar Drago, M. A., Belmonte Soler, J., Benjumeda Maira, A., Cardona Dahl, V., Chaparro Martínez, A., ... Domingo, M. V. (2002). *Polen y alergia*. (A. L. Valero Santiago & Á. Cadahía García., Eds.). Barcelona - España. Retrieved from https://lap.uab.cat/aerobiologia/general/pdf/books/2002_Polinosis.Polen_y_alergia.pdf
- Baños, M., & Morales, M. (2009). Comportamiento de aeroalergenos y factores ambientales. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(6). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000600012
- Barreda, V., Encinas, A., & Hinojosa, L. F. (2011). Polen y esporas de la Formación Navidad, Neógeno de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(3), 341–355. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000300003>
- Belmonte, J. (2003). Técnica para captar e identificar los pólenes, 1–67. Retrieved from <https://studylib.es/doc/5382165/técnica-para-captar-e-identificar-los-pólenes>
- Belmonte, J., Cuevas, E., Poza, P., Fonález, R., Roure, J. M., Puigdemunt, R., ... Grau, F. (2010). *Aerobiología y alergias respiratorias de Tenerife*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00179-5>
- Bermejo, D. (2011). *Evolución y situación actual de los estudios del polen atmosférico. Referencia a la polinización en Zaragoza*. (Colegio Of). Retrieved from <http://www.academiadefarmaciadearagon.es/docs/Documentos/Documento41.pdf>
- Björkstén, B., Ait-Khaled, N., Innes Asher, M., Clayton, T. O., Robertson, C., & ISAAC Phase Three Study Group. (2011). Global analysis of breast feeding and risk of symptoms of asthma, rhinoconjunctivitis and eczema in 6–7 year old children: ISAAC Phase Three. *Allergologia et Immunopathologia*, 39(6), 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2011.02.005>
- Brunekreef, B., Von mutius, E., Wong, G. K., Odhiambo, J. A., & Clayton, T. O. (2012). Early life exposure to farm animals and symptoms of asthma, rhinoconjunctivitis and eczema: An ISAAC phase three study. *International Journal of Epidemiology*, 41(3), 753–761. <https://doi.org/10.1093/ije/dyr216>
- Cabral, C. C., García, H. E., & Ramirez, G. (2015). Estudio Aerobiológico en la Ciudad de Bucaramanga. *Revista de Alergia, Asma e Inmunología*. Retrieved from <https://encolombia.com/medicina/revistas-medicas/alergia/vol-122/alergia12203-estudio/>
- Castro, C. A. (2009). *Evaluación aeromicológica en la calidad del aire de la zona aledaña al relleno sanitario Portillo Grande en el otoño 2009*. Universidad Nacional Agraria la Molina. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14011>
- Cepeda, A., & Villalba, S. (2008a). Fungal prevalence in the atmosphere of Barranquilla, Colombia. In *III Encuentro de Investigación en la Universidad del Rosario* (p. 72). Ann

- Allergy. Retrieved from <https://editorial.urosario.edu.co/pageflip/acceso-abierto/encuentro-de-investigacion-en-la-universidad.pdf>
- Cepeda, A., & Villalba, S. (2008b). Pollen calendar of Barranquilla, Colombia. 2004-2005. In *III Encuentro de Investigación en la Universidad del Rosario*. Ann Allergy. Retrieved from <https://editorial.urosario.edu.co/pageflip/acceso-abierto/encuentro-de-investigacion-en-la-universidad.pdf>
- Cepeda, A., Villalba, S., Parody, A., & Gamboa, M. (2013). Calendario polínico de Barranquilla, Colombia, 2008-2013. *Congreso De La Sociedad Española De Alergología E Inmunología Clínica.*, 265.
- Cepeda, A., Villalba, S., Parody, A., & Gamboa, M. (2018). Concentración de esporas de hongos en la atmósfera de Barranquilla, Colombia, durante los años 2008 a 2013. *XXXI Congreso de La Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica*, 316.
- Cepeda S., A. M., & Villalba V., S. (2006). Aerobiología y enfermedad respiratoria. In *Neumología Pediátrica Infección, alergia y enfermedad respiratoria en el niño*.
- Cezar, M. B. (2009). *Estudio epidemiológico de alergia a hongos y otros neumoalergenos, en estudiantes de medicina de la universidad Autónoma de Barcelona, con relación a los niveles fúngicos ambientales*. Retrieved from https://lap.uab.cat/aerobiologia/general/pdf/thesis/2009_Thesis_M_Bus_Cezar_Fontana.pdf
- De Benito Rica, V. (2003). *Aerobiología del polen alergénico y polinosis en Santander. Relación de la agudización del asma bronquial con factores del ambiente exterior*. Universidad de cantabria departamento de ciencias médicas y quirúrgicas. Retrieved from <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10613/TesisVBR.pdf?sequence=1>
- De Rivas, S. C. (1976). *Sobre La Nomenclatura Palinologica : La Esporodermis*. *Anales del instituo de Botanica Cavanilles* (Vol. 33). Retrieved from [http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1976/Anales_33\(1\)_159_177.pdf](http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/anales/1976/Anales_33(1)_159_177.pdf)
- DIMAR. (2007). Climatología De Los Principales Puertos Del Caribe Colombiano Barranquilla. Retrieved from https://www.cioh.org.co/derrotero/images/PDFExternos/Climatologia_Barranquilla.pdf
- Dueñas, H. (1979). Estudio Palinologico De Los 35 Mts. Superiores De La Seccion Tarragona, Sabana De Bogota. *Caldasia*, 12(60), 539–571.
- Fröhlich-nowoisky, J., Burrows, S., Hoffmann, T., Mainz, J. G., Kampf, C. J., Weber, B., ... Pöschl, U. (2016). Bioaerosols in the Earth System : Climate , Health , and Ecosystem Interactions ecosystem interactions. *Atmospheric Research*, 182(August), 346–376. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.018>
- Gabaldón Arguiselas, A. (2016). *Estudio aerobiológico del municipio de las Rozas de Madrid y aplicación de resultados al control del polen alergénico*. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. Retrieved from <http://eprints.ucm.es/38617/1/T37555.pdf>
- Galán, C., Alcázar, P., Domínguez, E., Villamandos, F., & Garcia, F. (1995). Airborne pollen grain concentrations at two different heights. *Aerobiologia*, 11(2), 105–109. <https://doi.org/10.1007/BF02738275>
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., & Domínguez, E. (2007). *Manual de calidad y gestion de la red española de aerobiologia*. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. Retrieved from https://www.uco.es/rea/manual_cast.pdf
- García, J. J. (2010). *Detección de los niveles de proteínas alergénicas en el aire de Olea europaea (Ole e 1) cuantificación por métodos inmunológicos*. Universidad Politécnica de Cartagena. Retrieved from file:///C:/Users/Usuario/Downloads/jgh (1).pdf


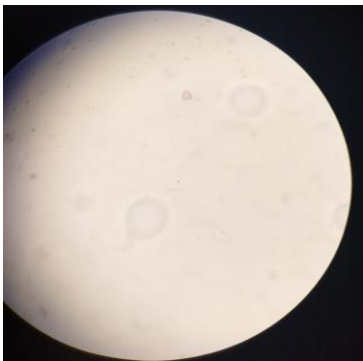

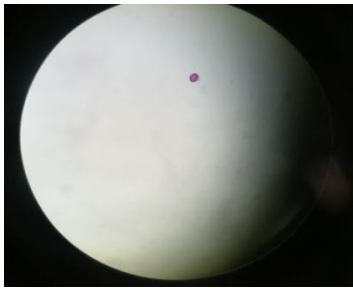
- Guidos F, G. A., & Almeida A, V. M. (2005). Polinosis y aeroalergenos Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas Polinosis y aeroalergenos, *14*, 52–55. Retrieved from <http://www.medigraphic.com/pdfs/alergia/al-2005/al052a.pdf>
- Gutiérrez, M., Pérez, R., & Cervigón, P. (2015). Aerobiología: redes de polen y esporas aerovagantes. *Rev.Salud Ambient*, 155–156. Retrieved from <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/viewFile/787/725>
- Hebel, I., & Rojas, G. (2000). Morfología de los granos de polen de especies de la familia proteaceae presentes en Chile. *Boletín Del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 72, 51–72. Retrieved from http://publicaciones.mnhn.cl/668/articles-64448_archivo_01.pdf
- Jones, A. M., & Harrison, R. M. (2004). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations—a review. *Science of The Total Environment*, 326(1–3), 151–180. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2003.11.021>
- Kim, K.-H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2018). Airborne bioaerosols and their impact on human health. *Journal of Environmental Sciences*, 67, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
- Knutsen, A. P., Bush, R. K., Demain, J. G., Denning, D. W., Dixit, A., Fairs, A., ... Wardlaw, A. J. (2012). Fungi and allergic lower respiratory tract diseases. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 129(2), 280–291. <https://doi.org/10.1016/J.JACI.2011.12.970>
- Macías, A., & Ortega, C. I. (2014). El estudio del polen: una ventana al pasado de las comunidades y el clima. *ResearchGate*, 2, 131–140. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/318446619_El_estudio_del_polen_una_ventana_al_pasado_de_las_comunidades_y_el_clima
- Maldonado, M., Peña, J., De Los Santos, S., Castellanos, A., Camarena, D., Arévalo, B., ... Guzmán, D. (2014). Bioaerosoles y evaluación de la calidad del aire en dos centros hospitalarios ubicado en León, Guanajuato, México. *REv. Int. Contam. Ambie.*, 30(4), 351–363. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n4/v30n4a4.pdf>
- Mardones, P., Grau, M., Araya, J., Córdova, A., Pereira, I., Peñailillo, P., ... Palomo, I. (2013). First annual register of allergenic pollen in Talca, Chile. *Allergologia et Immunopathologia*, 41(4), 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2012.06.001>
- Martí, M. del C., & Obiols, J. (2005). NTP 288 : Síndrome del edificio enfermo : enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 1–10.
- Miralles, J. C. (2009). *Pólenes de interés alergológico en el sureste de España*. Murcia (España). Retrieved from http://www.alergomurcia.com/tools/pdf/Charla_La_Santa_2009_CORTA.pdf
- Mitchell, E., Beasley, R., Björkstén, B., Crane, J., García-Marcos, L., & Keil, U. (2013). The association between BMI, vigorous physical activity and television viewing and the risk of symptoms of asthma, rhinoconjunctivitis and eczema in children and adolescents: ISAAC Phase Three. *Clinical and Experimental Allergy*, 43(1), 73–84. <https://doi.org/10.1111/cea.12024>
- Mitchell, E., Beasley, R., Keil, U., Montefort, S., & Odhiambo, J. (2012). The association between tobacco and the risk of asthma, rhinoconjunctivitis and eczema in children and adolescents: Analyses from phase three of the ISAAC programme. *Thorax*, 67(11), 941–949. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2011-200901>
- Morgado, W. B., Agudelo, D., Ramirez, M. C., Hernandez, M. M., Mendoza, H. P., Parody, A., & Vilorio, A. (2018). Hospital Admission and Risk Assessment Associated to Exposure of Fungal Bioaerosols at a Municipal Landfill Using Statistical Models. In *Intelligent Data Engineering and Automated Learning -- IDEAL 2018* (pp. 210–218). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03496-2_24






- Nitiu, D. S., & Mallo, A. C. (2011). Variaciones en la estacionalidad de polen y esporas fúngicas en la atmósfera de la ciudad de La Plata (Argentina). *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 46(3–4), 297–304. Retrieved from https://botanicaargentina.com.ar/wp-content/uploads/2017/05/09_nitiu_mallo.pdf
- Nitiu, D. S., & Mallo, A. C. (2012). Variación interanual de la diversidad y contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de buenos aires. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26940/Documento_completo.pdf?sequ
- Palacios, R., & Rzedowski, J. (1993). Estudio palinológico de las floras fósiles del mioceno inferior y principios del mioceno medio de la región de Pichucalco, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana*, (24), 1–96. Retrieved from <https://www.redalyc.org/html/574/57402401/>
- Pasanen, A.-L., Pasanen, P., Jantunen, M. J., & Kalliokoski, P. (1991). Significance of air humidity and air velocity for fungal spore release into the air. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(2), 459–462. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90316-Y](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90316-Y)
- Pire, S. M., Anzótegui, L. M., & Cuadrado, G. A. (2004). Estudios palinológicos en el Litoral Fluvial argentino. *INSUGEO, Miscelánea*, 12, 139–146. Retrieved from <http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/misc-12-18.pdf>
- Puiggròs, A. (2012). Prevalencia de sensibilización a los pólenes de los árboles plantados en la ciudad de Barcelona, 115. Retrieved from https://lap.uab.cat/aerobiologia/general/pdf/thesis/2012_Thesis_A_Puiggros_Casas.pdf
- Ramos, R., & Meza, V. (2017). Efectos de algunos factores meteorológicos sobre la concentración de esporas de hongos en la Plaza San Martín de Lima. *Ecol. Apl.*, 16(2), 143–149. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1018>
- Rangel, O. J. (2011). *Colombia diversidad biótica XI patrones de la estructura y de la riqueza de la vegetación en Colombia*. Retrieved from <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoXI.pdf>
- Reitsma, T. (1970). Suggestions towards unification of descriptive terminology of Angiosperm pollen grains, 39–60. Retrieved from <http://repository.naturalis.nl/document/572751>
- Rivas, P. (2018). *Prick test: pruebas cutáneas de alergia*. Retrieved from <https://www.webconsultas.com/pruebas-medicas/prick-test-pruebas-cutaneas-de-alergia-8519>
- Rodríguez, M. A. (2009). *Desarrollo de una metodología para la recuperación de pólenes de filtros de fibra de vidrio, captados por muestreo de alto volumen*. Retrieved from <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/635/1/Tesis Marco Antonio Rodríguez Villa %281%29.pdf>
- Sánchez, K. C., & Almaguer, M. (2014). Aeromicrología y salud humana. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 66(3), 322–337. Retrieved from <http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/misc-12-18.pdf>
- Sánchez, M. A., Roig, A., Cayuela, M., & Stentiford, E. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos, 10(1), 39–47. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/467/46710104.pdf>
- Singh, N., Singh, U., Singh, D., Daya, M., & Singh, V. (2017). Correlation of pollen counts and number of hospital visits of asthmatic and allergic rhinitis patients. *Lung India*, 34(2), 127. <https://doi.org/10.4103/0970-2113.201313>
- Soejarto, D. ., & Fonnegra, R. (2008). Poler: Diversidad en formas y tamaños. Retrieved from <http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/raba1972v1n1art1.pdf>
- Taha, M. P., Drew, G. H., Tamer, A., Hewings, G., Jordinson, G. M., Longhurst, P. J., & Pollard, S. J. (2007). Improving bioaerosol exposure assessments of composting facilities — Comparative modelling of emissions from different compost ages and

- processing activities. *Atmospheric Environment*, (21), 4504–4519. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007000623>
- Trigo, M. (2017). *La aerobiología y el contenido polínico de la atmósfera*. Retrieved from https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4082/40_revistauciencia04.pdf?sequence=1
- Trigo, M. M., Melgar, M., García, J., Recio, M., Docampo, S., & Cabezudo, B. (2015). *El polen en la atmósfera de Vélez-Málaga*. (C. de M. A. A. de Vélez-Málaga., Ed.). Retrieved from http://www.biolveg.uma.es/links/polen_velez_malaga.pdf
- Velásquez, C. A., & Rangel, O. J. (1995). Atlas palinológico de la flora vascular del paramo I las familias mas ricas en especies, 17. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/21051/1/17312-54868-1-PB.pdf>
- Vélez, A. M. (2017). *Modelación espacio-temporal de polen y esporas de hongos aerovagantes de Catalunya (1994-2015)*. Universitat Autònoma de Barcelona. Retrieved from https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2017/hdl_10803_457890/amvp1de2.pdf
- Wilson, M. D., Villalba, S. E., Avila, H., Hahn, J., & Cepeda, A. M. (2011). Correlation between Atmospheric Tree Pollen Levels with Three Weather Variables during 2002-2004 in a Tropical Urban Area. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 127(2), AB170. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2010.12.677>

Anexos

Anexo 1. Identificación de granos de polen encontrados por medio del microscopio DM750 de marca Leica a un objetivo de 40X.


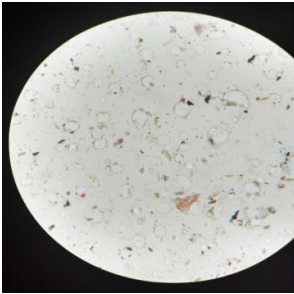
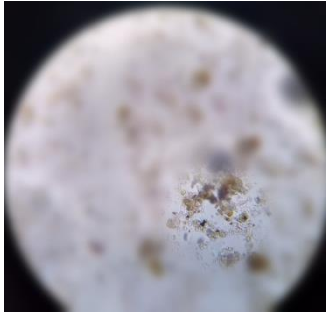


Familia/Género/Especie	Imagen microscópica
Rumex	
Loranthaceae	
Escallonia	
Cecropiaceae	


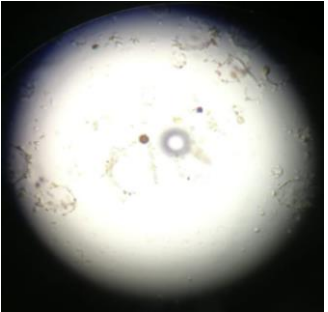
<p>Celtis</p>	
<p>Gramíneas</p>	
<p>Loranthaceae</p>	
<p>Moraceae</p>	
<p>Amarantaceae/Chenopodiaceae</p>	

Compuesta



Anexo 2. Identificación de esporas de hongos encontrados por medio del microscopio DM750 de marca Leica a un objetivo de 40X.

Familia/Género/Especie	Imagen microscópica
Tetraploa	
Venturia y Ascospora	
Basidiospora	
Cladosporium	
Pithomyces	

<p>Nigrospora</p>	
<p>Periconia</p>	
<p>Curvularia</p>	